DRAGUTIN KAISER
diplomirani elektrostrojarski inženjer

ELEKTROTEHNIČKI PRIRUČNIK

TREĆE, ZNATNO PRERAĐENO I PROŠIRENO IZDANJE

TEHNIČKA KNJIGA
ZAGREB 1964

P R E D G O V O R

Brza prodaja prvog i drugog izdanja pokazala je da je ovaj priručnik naišao na veoma dobar prijem među našim elektrotehničarima od inženjera do kvalificiranih radnika. Potreba za novim izdanjem osjećala se već dugo, ali su razne okolnosti jako zategle njegovo izlaženje. Danas je novo izdanje potrebno ne samo stoga što je staro rasprodano, već i stoga što je ranije izdanje znatnim dijelom zastarjelo zbog izlaska mnogih novih standarda i propisa.

Ovo treće izdanje donosi velike promjene prema drugom izdanju, čak veće nego drugo prema prvom. Dvije trećine teksta je u znatnoj mjeri prerađeno, djelomično nanovo napisano, a djelomično upotpunjeno i dotjerano. Opseg knjige je povećan od 632 na 721 stranicu, ali je knjiga stvarno još znatnije povećana što je postignuto zbijanjem teksta sadržajno i grafički, stiskanjem stranica, a često i upotrebom manjih slova.

Izrađujući novo izdanje ovog priručnika bio mi je osnovni cilj da našim inženjerima, tehničarima i stručnim radnicima u elektroprivredi, industriji, projektantskim organizacijama, ustanovama i u zanatstvu te studentima i đacima u školama pružim knjigu u kojoj će moći naći što više priručnih podataka prikladnih da im posluže pri rješavanju njihovih različitih zadataka. I ovaj put sam veliki trud uložio da ovaj priručnik odgovara najnovijim propisima, te da bude prilagođen *našoj* tehničkoj praksi i *našim* potrebama. Gdje je god to bilo moguće, podaci su dani iz domaće proizvodnje. Sve do zadnje korekture vršio sam usklađivanja s novo izašlim standardima i propisima. Nadam se stoga da će ovo novo izdanje još bolje poslužiti našim ljudima i biti još korisnije od prethodnih izdanja.

Mnogi su strani elektrotehnički priručnici u stvari tehničke enciklopedije koje u sažetom obliku obrađuju cijelo područje elektrotehnike ili njezin veliki dio. Ovaj priručnik to nije. U njemu se nigdje ne obrađuje, na primjer, princip rada neke tehničke naprave, niti se ne objašnjavaju neke pojave iz elektrotehničke teorije. Iz njega se ne da naučiti kako radi neki stroj, ni kako se grade vodovi visokog napona, ni ništa slično. On sadrži samo gotove priručne podatke, najvećim dijelom numeričke, koji elektrotehničarima trebaju u njihovoj praksi.

Svrha je ove knjige da obiljem takvih podataka bude u potpunom smislu riječi »priručnik« za elektrotehničare u praksi. On je sastavljen samo za potrebe prakse, ali ta praksa nije shvaćena usko. On treba da našim elektrotehničarima pomogne ne samo u raznim pitanjima pogona električnih postrojenja, pa pri projektiranju, konstruiranju i montaži, već i da im pomogne, naročito svojim prvim dijelom, i u praćenju stručne literature.

Nije mi bilo moguće obuhvatiti cijelo područje elektrotehnike niti sam to smatrao potrebnim. Ovaj priručnik obuhvaća samo područje energetske elektrotehnike (ili, kako se to često još u nas kaže, područje »jake struje«), ali i tu su izostavljena neka specijalna područja (npr. električna vuča) s kojima elektrotehničari opće prakse rjeđe imaju posla. Nemoguće je, dakako, makar

i za ograničeno područje elektrotehnike, sastaviti neki sveobuhvatni priručnik sveznadar, pa će mnogi sigurno pronaći da poneki potrebni podaci nisu u njemu sadržani. Pri izboru građe ograničio sam se na one podatke koje sam smatrao najvažnijima s obzirom na svrhu ovog priručnika i na njegov opseg.

Priručnik je sastavljen tako da se njime mogu služiti ne samo inženjeri i tehničari, već, u njegovu najvećem dijelu, i kvalificirani radnici (elektromonteri, elektroinstalateri, elektrostrojari, elektromehaničari).

Baš ta njegova namjena bila je razlog da se ni u novom izdanju nisam mogao odlučiti za dosljednu upotrebu Giorgijeva mjernog sistema premda sam dakako njegov pristaša. Kao jedinica sile upotrebljena je jedinica kilopond (novi naziv za kilogram sile), a ne njutn, jer se ova posljednja jedinica još rijetko upotrebljava u našoj praksi, pa bi pri upotrebi tablica i drugih numeričkih podataka s tom jedinicom veliki dio naših elektrotehničara, naročito onih s nižom kvalifikacijom, imao poteškoća. Ti isti praktični razlozi naveli su me na to da sam upotrijebio naziv »težina« umjesto naziva »masa« gotovo svugdje gdje se radi o masi materijala mjerenoj u kilogramima. Bojao sam se da bi (inače jedino ispravan) naziv »masa« mogao zbuniti one korisnike priručnika koji slabije poznaju teoriju (a tih ima sigurno mnogo). U takvim je slučajevima svugdje upotrebljena jedinica za masu, kilogram, jer se u stvari *radi o masi, a ne o težini.*

Na kraju htio bih zahvaliti svima onima koji su mi pomogli u radu na novom izdanju ovog priručnika. To su u prvom redu Jugoslovenski zavod za standardizaciju (koji mi je stavio na raspolaganje cjelokupnu svoju standardoteku i dokumentaciju), mnoga naša industrijska poduzeća (kao »Rade Končar«, »Energoinvest«, »Elektrosrbija«, Fabrika kablova »Moša Pijade« Svetozarevo i dr.), mnoge elektroprivredne organizacije, Internacionalna stalna izložba publikacija, Savezni zavod za statistiku i drugi. Toplo zahvaljujem i pojedinim našim stručnjacima koji su mi pomogli savjetom ili davanjem podataka. Veoma sam obvezan i nakladnom poduzeću »Tehnička knjiga«, Zagreb, i tiskari »Grafički zavod Hrvatske«, Zagreb, koji su u svemu izašli u susret mojim željama i učinili sa svoje strane sve da knjiga ispadne što bolja i ljepša.

Nadam se da će i ovo treće izdanje naići na jednako dobar prijem kao i ranija izdanja.

Zagreb, krajem marta 1964. *D. Kaiser*

SADRŽAJ

Broj ispred poglavlja u Sadržaju je redni broj koji je u knjizi otisnut uz naslov svakog poglavlja.

Matematika Strana

Električni strojevi

Transformatori

Usmjerivači, pretvarači, kondenzatori

* Vidi izmjenu nekih podataka na strani 704.

Strana

Strana

Kabeli i izolirani vodovi

Rasklopna i razvodna postrojenja

MATEMATIKA

Matematičke oznake

(Navedene su samo neke oznake)

Oznaka	Značenje oznake	Oznaka	Značenje oznake
$\approx$	približno jednako	ln	logaritam po osnovci e (prirodni, hiperbolni ili Napierov logaritam)
$\neq$ $\neq$	različito od	M	modul log. sustava po osnovci 10 $M = \lg e = 0{,}434\,29\ldots$
$\hat{=}$	odgovara*		
$\sim$	proporcionalno		
$\simeq$	asimptotički jednako		
$\cong$	kongruentno	e	osnovka prirodnih logaritama $e = 2{,}718\,281\,828\,496\ldots$
$\equiv$	identično		
$>$	veće		
$\geqq$	veće ili jednako	$\exp x$	e na x-tu (potenciju) npr. $\exp\,(ax+b) = e^{ax+b}$
$<$	manje	π	omjer opsega i promjera kruga (Ludolfov broj), $\pi = 3{,}141\,592\,654\ldots$
$\leqq$	manje ili jednako		
$\gg$	veliko prema } oznake za razliku u redu veličine		
$\ll$	malo prema } oznake za razliku u redu veličine	a, b, c	konstante
∞	beskonačno (neizmjerno)	x, y, z / t, u, v	promjenljive (veličine), varijable, nepoznanice
$\parallel$	usporedno, paralelno		
#	usporedno (paralelno) i jednako	Σ	zbroj, suma
		$f(x)$	funkcija od x
$\perp$	okomito na	$F(x, y)$	funkcija od x i y
$n!$	n faktorijela $[n! = 1\cdot 2\cdot 3\ldots\cdot(n-1)\cdot n]$	Δx	prirast veličine x
		$\rightarrow$	teži prema
		$\mathrm{d}x$	diferencijal od x
$\binom{n}{k}$	n iznad k $\binom{n}{k} = \frac{n!}{(n-k)!\,k!}$	$\frac{\mathrm{d}f(x)}{x}$	ili $f'(x)$: prva derivacija $f(x)$ po x
$\lvert a \rvert$	iznos od a (apsolutna vrijednost)	$\frac{\mathrm{d}^2 f(x)}{x}$	ili $f''(x)$: druga derivacija $f(x)$ po x
$\bar{a}$, $\langle a \rangle$	srednja vrijednost od a		
i, j	$\sqrt{-1}$, imaginarna jedinica	$\frac{\mathrm{d}^n f(x)}{x}$	ili $f^n(x)$: n-ta derivacija $f(x)$ po x
$\log_a$	logaritam po osnovci (bazi) a	∂	oznaka za parcijalno diferenciranje
lg	logaritam po osnovci 10 (dekadski ili Briggsov logaritam)	$\int_a^b$, $\int_a^b$	određeni integral (od a do b)

* Npr. na osnovu jednadžbe $E = mc^2$ dobijemo 1 kg $\hat{=}$ 10^{16} J (džula).

2

Neki matematički nazivi

1. Kod zbrajanja (adicije):

$a + b + c + d = e$ — a, b, c, d — pribrojnici ili sumandi; e — zbroj ili suma

2. Kod oduzimanja (suptrakcije):

$a - b = c$ — a — umanjenik ili minuend; b — umanjitelj ili suptrahend; c — razlika ili diferencija

3. Kod množenja (multiplikacije):

$a \cdot b = c$ — a, b — faktori; a — množenik ili multiplikand; b — množitelj ili multiplikator; c — umnožak ili produkt

4. Kod dijeljenja (divizije):

$a : b = c$ — a — dijeljenik ili dividend; b — djelitelj ili divizor; c — kvocijent

5. Kod potenciranja i korjenovanja (radiciranja):

a^n — a^n — potencija; a — baza; n — eksponent

$\sqrt[n]{a}$ — a — radikand; n — eksponent korijena

6. Brojevi:

Prirodni brojevi: 1, 2, 3 . . .
Posebni brojevi: 1, 2, 3, 10 . . . π, e, 12,859 . . .
Opći ili algebarski brojevi: $a, b, c \ldots x, y, z \ldots \alpha, \beta \ldots$
Relativni brojevi: pozitivni $(+1, +2, +a \ldots)$ ili negativni $(-1, -a \ldots)$

Realni brojevi sastoje se od racionalnih i iracionalnih brojeva.

Racionalni brojevi: svi pozitivni i negativni cijeli brojevi, svi razlomci načinjeni od takvih brojeva (dakle i svi beskonačni periodski decimalni razlomci) i nula. Drugim riječima: svi brojevi koji se mogu dobiti zbrajanjem, oduzimanjem, množenjem ili dijeljenjem cijelih brojeva (pozitivnih ili negativnih).

Iracionalni brojevi: beskonačni neperiodski decimalni razlomci (npr. $\sqrt{2}$, lg 2, ln 3, π, $e \ldots$)

Imaginarni broj: ja (ili ia) $= a\sqrt{-1}$ gdje je a bilo koji realan broj

Kompleksni broj: $z = a + jb$ (ili $a + ib$) gdje su a, b bilo koji realni brojevi. $z' = a - jb$ naziva se konjugirano kompleksni broj prema z.

SKRAĆENO RAČUNANJE

1. Skraćeno množenje. Ako se množe dva približna broja, od kojih manje tačan ima n određenih znamenaka, njihov će produkt imati najviše $(n-1)$ tačnih znamenaka. Takve je brojeve mnogo jednostavnije množiti skraćeno.

Primjer:

$$\begin{array}{r} 1{,}234 \cdot 5{,}6789 \\ \hline 6{,}170 \\ 740 \\ 86 \\ 10 \\ 1 \\ \hline 7{,}007 \end{array}$$

Pravila: a) Manje tačan broj uzme se kao multiplikand.

b) Nakon prvog parcijalnog produkta $(1{,}234 \cdot 5 = 6{,}170)$ precrta se zadnja znamenka multiplikanda (4) pa se ostatak multiplikanda pomnoži s drugom znamenkom multiplikatora $(123 \cdot 6)$ dodavši *donos od umnoška* $6 \cdot 4$. (*Računa* se dakle: $6 \cdot 4 = 24$, donos 2, $6 \cdot 3 = 18 + 2 = 20$, pa se 0 potpiše kao što se vidi iz primjera.) Nakon toga se precrta daljnja znamenka itd.

c) Ako multiplikand ima n određenih znamenaka, multiplikator se po potrebi zaokružuje na $n + 1$ znamenku.

d) Decimalni zarez odredi se ovako: 1. Zbroji se broj cijelih mjesta obaju faktora, pri čemu se — za brojeve manje od 1 — broj nula iza decimalnog zareza uzima kao negativan broj cijelih mjesta. 2. Broj cijelih mjesta produkta jednak je tom zbroju ili je za 1 manji od njega, već prema tome da li bi produkt obaju faktora uz po jedno cijelo mjesto bio veći ili manji od 10. Npr. $1233 \cdot 0{,}0056$: $+ 4 - 2 = 2$. Produkt ima jedno cijelo mjesto jer je produkt $1{,}234 \cdot 5{,}6 < 10$.

2. Skraćeno dijeljenje. Ako se dijele dva približna broja, kvocijent ne može biti tačniji od manje tačnog* od ta dva broja. Treba ih stoga dijeliti skraćeno.

Primjer:

$$\begin{array}{l} 123{,}456 : 9876 = ? \\ 123{,}46 : 9876 = 0{,}01250 \\ \ \ 20\,70 \\ \ \ \ \ 4\,95 \\ \ \ \ \ \ \ 1 \end{array}$$

Pravila: a) Dividend odn. divizor skrate se po potrebi na toliki broj znamenaka da bude baš moguće od dividenda odbiti produkt divizora sa prvom znamenkom kvocijenta.

b) Za svaku daljnju znamenku kvocijenta precrta se zdesna po jedna znamenka divizora, ali pri tome treba uzeti u obzir korekturu.

c) Decimalni zarez određuje se kao pri običnom dijeljenju.

3. Brzo množenje nekih brojeva

Za brzo množenje nekih dvoznamenkastih i troznamenkastih brojeva može se iskoristiti shema: $(a + b)\ (a + 10 - b) = a\,(a + 10) + b\,(10 - b)$

$34 \cdot 36 = 30 \cdot 40 + 4 \cdot 6 = 1224$	$72 \cdot 78 = 70 \cdot 80 + 2 \cdot 8 = 5616$
$45 \cdot 45 + 40 \cdot 50 + 5 \cdot 5 = 2025$	$103 \cdot 107 = 100 \cdot 110 + 3 \cdot 7 = 11021$

*) Manje tačan broj je onaj koji ima manje određenih znamenaka. Npr. 673 je manje tačan nego 3,725, ali tačniji nego 0,00037.

4. Približne formule. Iz razvoja funkcije u redove dobiju se za male vrijednosti x slijedeće formule (stupac 1). Za veće x ili za veću tačnost treba na desnoj strani formule dodati još jedan član (stupac 3).

Približna formula	Za $P<0{,}001$ $\lvert x\rvert <$*	Daljni član približne formule	Približna formula	Za $P<0{,}001$ $\lvert x\rvert <$*	Daljni član približne formule
$(1\pm x)^2 \approx 1\pm 2x$	0,032	$+x^2$	$\operatorname{tg} x \approx x$	0,182 (10,4°)	$-x^3/6$
$(1\pm x)^3 \approx 1\pm 3x$	0,018	$+3x^2$	$\operatorname{ctg} x \approx 1/x$	0,003 (0,172°)	$-x/3$
$\sqrt{1\pm x} \approx 1\pm x/2$	0,089	$-x^2/8$	$\arcsin x \approx x$	0,182 (10,4°)	$+x^3/6$
$1:(1+x) \approx 1-x$	0,032	$+x^2$	$\operatorname{arc\,tg} x \approx x$	0,144 (8,25)	$-x^3/3$
$1:\sqrt{1+x} \approx 1-x/2$	0,052	$+x^2/8$	$\operatorname{sh} x \approx x$	0,182	$+x^3/6$
$e^x \approx 1+x$	0,045	$+x^2/2$	$\operatorname{ch} x \approx 1+x^2/2$	0,394	$+x^4/24$
$a^x \approx 1+\ln a\cdot x$	—	$+\frac{1}{2}(\ln a)^2\cdot x^2$	$\operatorname{th} x \approx x$	0,144	$-x^3/3$
$\ln(1+x) \approx x$	0,045	$-x^2/2$	$\operatorname{cth} x \approx 1/x$	0,003	$+x/3$
$\sin x \approx x$	0,182 (10,4°)	$-x^3/6$	$\operatorname{Ar\,sh} x \approx x$	0,182	$-x^3/6$
$\cos x \approx 1-x^2/2$	0,394 (22,6°)	$-x^4/24$	$\operatorname{Ar\,th} x \approx x$	0,144	$+x^3/3$

$(1+x)\,(1+y) \approx 1+x+y$ za male vrijednosti x i y.

Prema gornjim formulama, s brojevima koji se mnogo ne razlikuju od 1, može se računati približno:

$1{,}02\cdot 1{,}06 = 1+0{,}02+0{,}06 = 1{,}08$

$1{,}03\cdot 0{,}95 = 1+0{,}03-0{,}05 = 0{,}98$

$1{,}026^2 = 1+2\cdot 0{,}026 = 1{,}052$

$\sqrt{1{,}026} = 1+\frac{1}{2}\cdot 0{,}026 = 1{,}013$

$0{,}974^2 = 1-2\cdot 0{,}026 = 0{,}948$

$\sqrt{0{,}974} = 1-\frac{1}{2}\cdot 0{,}026 = 0{,}987$

$1/1{,}026 = 1-0{,}026 = 0{,}974$

$1/0{,}974 = 1+0{,}026 = 1{,}026$

4 NEKA MATEMATIČKA PRAVILA I FORMULE

1. Brza kontrola množenja i dijeljenja

Primjer za množenje: 13579 · 2468 = 33 512 972

Kontrola krajnjim zbrojem znamenaka:

$1+3+5+7+9 = 25 \qquad 2+4+6+8 = 20$

$2+5 = \underline{7} \qquad 2+0 = \underline{2}$

$3+3+5+1+2+9+7+2 = 32$

$3+2 = 5$

$7\times 2 = 14; \quad 1+4 = 5 = \uparrow$

tačno!

Primjer za dijeljenje: 638 479 : 761 = 839

$6+3+8+4+7+9 = 37 \qquad 7+6+1 = 14 \qquad 8+3+9 = 20$

$3+7 = 10 \qquad 1+4 = 5 \qquad 2+0 = 2$

$1+0 = 1 \qquad 5\cdot 2 = 10; \qquad 1+0 = 1$

tačno!

* Pogreška P nije veća od 0,001 (1‰) ako $\lvert x\rvert$ ne prelazi vrijednosti navedene u ovom stupcu.

2. Kvadriranje posebnih brojeva izvodi se po shemi $(a + b)^2 = \ldots$

$$\begin{array}{lr} 2{,}34^2 & \\ \hline 2^2 \ldots & 4. \\ 2\cdot 2\cdot 3 & 12. \\ 3^2 & 9. \\ 2\cdot 23\cdot 4 & 184. \\ 4^2 & 16 \\ \hline & 5{,}4756 \end{array} \quad \text{ili} \quad \begin{array}{lr} 2{,}34^2 & \\ \hline 2^2 \ldots & 4.. \\ 43\cdot 3 & 129.. \\ 464\cdot 4 & 1856 \\ \hline & 5{,}4756 \end{array}$$

Rezultat ima 2 puta toliko decimalnih mjesta koliko ih ima zadani broj.

3. Drugi korijen posebnih brojeva

$$\begin{array}{l} \sqrt{54|16|96} = 736 \\ \quad 51\,6 \; : \; 143 \cdot 3 \\ \quad\; 879\,6 : 1466 \cdot 6 \\ \quad 0 \end{array} \qquad \begin{array}{l} \sqrt{6|60,49} = 257 \\ \quad 26\,0 : 45\cdot 5 \\ \quad 354\,9 : 507 \cdot 7 \\ \quad 0 \end{array} \qquad \begin{array}{l} \sqrt{0,00|02} = 0{,}0141\ldots \\ \quad 10\,0 : 24\cdot 4 \\ \quad 40\,0 : 281 \cdot 1 \\ \quad \text{itd.} \end{array}$$

Broj s obje strane decimalnog zareza podijeli se u grupe sa po 2 znamenke. Izvadi se korijen iz prve grupe slijeva, i to je prva znamenka rezultata. Njezin se kvadrat odbije od prve grupe, ostatku se doda druga grupa pa se dobiveni broj podijeli (pošto se odvoji zadnja znamenka!) sa dvostrukom prvom znamenkom rezultata i dobije tako druga znamenka rezultata. Ona se dopiše divizoru te se tako dobiveni divizor pomnoži njome i odbije od dividenda. Ostatku se dopiše treća grupa itd. Rezultat ima toliko cijelih mjesta koliko u zadanom broju ima grupa slijeva od decimalnog zareza.

4. Operacije s razlomcima

$$\frac{3}{5} = \frac{6}{10} = \frac{9}{15} = \frac{12}{20} = \frac{120}{200} = \text{proširivanje razlomaka sa } 2,\ 3,\ 4,\ 10,\ 40.$$

$$\frac{84}{96} = \frac{42}{48} = \frac{28}{32} = \frac{14}{16} = \frac{7}{8} = \text{skraćivanje razlomaka sa } 2,\ 3,\ 4,\ 6,\ 12.$$

Zbrajanje i odbijanje:

$$\frac{3}{5} + \frac{2}{5} - \frac{4}{5} = \frac{3 + 2 - 4}{5} = \frac{1}{5}$$

$$\frac{2}{3} + \frac{3}{4} - \frac{1}{6} = \frac{4 \cdot 2 + 3 \cdot 3 - 2 \cdot 1}{12} = \frac{15}{12} = \frac{5}{4} = 1\frac{1}{4}$$

(12 je najmanji zajednički višekratnik)

Množenje:

$$\frac{2}{3} \cdot 4 = \frac{2\cdot 4}{3} = \frac{8}{3}; \qquad 2\frac{2}{3} \cdot 4 = 8\frac{8}{3} = 10\frac{2}{3}$$

$$\frac{2}{3} \cdot \frac{3}{5} = \frac{2\cdot 3}{3\cdot 5} = \frac{2}{5}$$

Dijeljenje:

$$\frac{9}{10}:\frac{3}{5}=\frac{9:3}{10:5}=\frac{3}{2}; \qquad \frac{9}{10}:\frac{4}{5}=\frac{9}{10}\cdot\frac{5}{4}=\frac{45}{40}=\frac{9}{8}$$

$$\frac{9}{10}:3=\frac{9:3}{10}=\frac{3}{10}; \qquad \frac{9}{10}:4=\frac{9}{10\cdot 4}=\frac{9}{40}$$

Prijelaz na decimalne brojeve

$$\frac{1}{4}=1:4=0{,}25; \qquad \frac{1}{3}=1:3=0{,}333\ldots$$

5. Razmjeri

a) Razmjer: $a:b=c:d$ odnosno $\frac{a}{b}=\frac{c}{d}$

a i d jesu vanjski članovi, b i c unutarnji članovi.

b) Produkt vanjskih članova jednak je produktu unutarnjih.

c) U razmjeru se mogu zamijeniti unutarnji članovi međusobno, vanjski članovi međusobno i unutarnji s vanjskim članovima.

d) Dva člana razmjera mogu se pomnožiti ili podijeliti s bilo kojim brojem m:

$$am:bm=c:d \qquad am:b=cm:d$$

$$\frac{a}{m}:\frac{b}{m}=c:d \qquad \frac{a}{m}:b=\frac{c}{m}:d$$

e) Korespondentno zbrajanje i odbijanje:

$$a:(a+b)=c:(c+d) \qquad b:(a+b)=d:(c+d)$$

$$a:(a-b)=c:(c-d) \qquad b:(a-b)=d:(c-d)$$

f) Neprekinuti razmjer: $a:b=b:c$.

g) Harmonički razmjer: $(a-b):(c-d)=a:d$

6. Srednje vrijednosti

Za n pozitivnih veličina $x_1, x_2, \ldots, x_n$ $(n>1)$ vrijedi:

Aritmetička srednja vrijednost $x_a=\dfrac{x_1+x_2+\ldots+x_n}{n}$

Geometrijska srednja vrijednost $x_g=\sqrt[n]{x_1\cdot x_2\cdot\ldots\cdot x_n}$

Harmonička srednja vrijednost $x_h=1:\dfrac{1}{n}\left(\dfrac{1}{x_1}+\dfrac{1}{x_2}+\ldots+\dfrac{1}{x_n}\right)$

$x_a \geq x_g \geq x_h$ (Cauchyjev poučak) (Cauchy = Koši)

7. Potenciranje

$a^n = a \cdot a \cdot a \ldots$ (n puta kao faktor). a — baza, n — eksponent
a^n — potencija

$a^m \pm a^n \rightarrow$ nesvodivo; $a^m a^n = a^{m+n}$; $2^3 \cdot 2^4 = 2^7$

$a^m b^m = (ab)^m$; $2^3 \cdot 3^3 = 6^3$

$\dfrac{a^m}{a^n} = a^{m-n} = 1/a^{n-m}$; $3^4/3^2 = 3^2 = 9$; $3^2/3^4 = 3^{-2} = 1/3^2 = 1/9$

$a^m/b^m = (a/b)^m$; $6^3/3^3 = 2^3$; $(a^m)^n = (a^n)^m = a^{mn}$; $(4^2)^3 = 4^6$

$a^{-m} = 1/a^m$; $2^{-3} = 1/2^3 = 1/8$; $a^0 = 1$; $a^{m/n} = \sqrt[n]{a^m}$; $a^{\frac{1}{n}} = \sqrt[n]{a}$

U gornjim izrazima eksponenti m i n mogu biti kakvi god brojevi: pozitivni, negativni, cijeli brojevi ili razlomci.

$(-a)^{2n} = +a^{2n}$ (parni eksponent); $(-a)^{2n+1} = -a^{2n+1}$ (neparni eksponent)

$0^n = 0$; $a^\infty = 0$ za $|a| < 1$; $a^\infty = \infty$ za $|a| > 1$

$10^6 = 1\,000\,000$ (jedinica sa toliko nula koliko pokazuje eksponent)

$10^{-6} = 0{,}000\,001$ (toliko u k u p n o nula koliko pokazuje eksponent).

$(a \pm b)^2 = a^2 \pm 2ab + b^2$ $\qquad$ $(a \pm b)^3 = a^3 \pm 3a^2b + 3ab^2 \pm b^3$

$(a + b)(a - b) = a^2 - b^2$ $\qquad$ $(a + b - c + \ldots)^2 = a^2 + b^2 + c^2 + \ldots +$
$+ 2(ab - ac - bc \ldots)$

$$(a \pm b)^n = a^n \pm \binom{n}{1} a^{n-1} b + \binom{n}{2} a^{n-2} b^2 \pm \binom{n}{3} a^{n-3} b^3 + \ldots + (\pm 1)^n b^n$$

Koeficijenti pojedinih članova zovu se binomni koeficijenti. Za značenje oznaka vidi 1 (strana 17).

$$\binom{n}{0} = 1 \qquad \binom{n}{1} = \binom{n}{n-1} = n \qquad \binom{n}{k} = \binom{n}{n-k} \qquad \binom{n}{n} = 1$$

$$\binom{n}{k} = \frac{n(n-1)(n-2)\ldots[n-(k-1)]}{1 \cdot 2 \cdot 3 \ldots k} = \frac{n!}{(n-k)! \cdot k!}$$

1	za $n = 0$
1 1	$n = 1$
1 2 1	$n = 2$
1 3 3 1	$n = 3$
1 4 6 4 1	$n = 4$
1 5 10 10 5 1	$n = 5$
1 6 15 20 15 6 1	$n = 6$

Vrijednosti pojedinih koeficijenata mogu se dobiti iz Pascalova trokuta lijevo. Krajnji koeficijenti svakog reda jesu 1, a svaki daljnji koeficijent dobije se kao zbroj dvaju brojeva lijevo i desno iznad njega.

8. Broj e

Broj e je faktor proporcionalnosti za sve procese koji se odvijaju po zakonu organskog porasta odn. organskog opadanja. Određen je izrazom

$$e = \lim_{n\to\infty}\left(1+\frac{1}{n}\right)^n = 2{,}718\,281\,828\,496\ldots$$

tj. limesom izraza $\left(1+\frac{1}{n}\right)^n$ kad n teži u beskonačnost. Može se izračunati po volji tačno pomoću konvergentnog beskonačnog reda:

$$\left(1+\frac{1}{n}\right)^n = 1 + \frac{1}{1!} + \frac{1}{2!} + \frac{1}{3!} + \ldots + \frac{1}{n!}$$

9. Radiciranje (korjenovanje)

Ako je $b^n = a$, tada je $b = \sqrt[n]{a}$ a — radikand, n — eksponent korijena, b — korijen.

$$\sqrt[n]{a^n} = \left(\sqrt[n]{a}\right)^n = a; \quad \sqrt[1]{a} = a; \quad \sqrt[m]{\sqrt[n]{a}} = \sqrt[mn]{a}; \quad \sqrt[n]{ab} = \sqrt[n]{a}\cdot\sqrt[n]{b}; \quad \sqrt[n]{\frac{a}{b}} = \frac{\sqrt[n]{a}}{\sqrt[n]{b}}$$

$$\sqrt[2n]{a} = \pm\left|\sqrt[2n]{a}\right|; \quad \sqrt[2n]{-a} \text{ — imaginarno (parni eksponent korijena)}$$

$$\sqrt[2n+1]{\pm a} = \pm\left|\sqrt[2n+1]{a}\right| \text{ (neparni eksponent korijena)}$$

10. Logaritmiranje

Ako je $a = b^m$, tada je $m = \log_b a$. b — baza logaritama, a — numerus, m — logaritam, tj. eksponent kojim treba potencirati bazu da se dobije zadani broj (numerus) a.

Dekadni (decimalni, Briggsovi, obični) logaritmi: Baza im je 10. Pišu se $\lg a$.

Prirodni (Napierovi, hiperbolni) logaritmi: Baza im je Eulerov (Ojler) broj $e = 2{,}718\,282\ldots$ Pišu se $\ln a$.

$\ln a = 2{,}3026 \lg a$; $\lg a = 0{,}4343 \ln a$ ($0{,}4343 = 1/2{,}3026$ — modul dekadnih logaritama.)

Osnovna pravila:

1. $\lg(uv) = \lg u + \lg v$
2. $\lg(u/v) = \lg u - \lg v$
3. $\lg u^n = n \lg u$
4. $\lg \sqrt[n]{u} = \frac{1}{n}\lg u$

Logaritam potencija broja 10: $\lg 10^n = n$ pa je

$\lg 1 = 0$ jer je $10^0 = 1$
$\lg 10 = 1$ jer je $10^1 = 10$
$\lg 100 = 2$ jer je $10^2 = 100$
$\lg 1000 = 3$ jer je $10^3 = 1000$
itd.

$\lg 0{,}1 = -1$ jer je $10^{-1} = 0{,}1$
$\lg 0{,}01 = -2$ jer je $10^{-2} = 0{,}01$
$\lg 0{,}001 = -3$ jer je $10^{-3} = 0{,}001$
itd.

Ako je lg 1,357 = 0,1326, tada je:

lg 1357 = 3,1326 jer je lg 1357 = lg ($10^3 \cdot 1,357$) = lg 10^3 + lg 1,357
lg 13,57 = 1,1326 jer je lg 13,57 = lg ($10 \cdot 1,357$) = lg 10 + lg 1,357
lg 0,1357 = 0,1326 — 1 jer je lg 0,1357 = lg ($10^{-1} \cdot 1,357$) = lg 10^{-1} + lg 1,357
lg 0,001357 = 0,1326 — 3 jer je lg 0,001357 = lg ($10^{-3} \cdot 1,357$) itd.

Broj koji ovisi o položaju zareza (u gornjem primjeru redom 0, 3, 1, —1, —3) naziva se **karakteristika**, a decimalni razlomak iza zareza (u gornjem primjeru 1326) naziva se **mantisa**.

Primjeri izračunavanja pomoću logaritama. (Pregledno je da se upotrijebi shema u kojoj su slijeva numerusi, a zdesna logaritmi.)

a) $x = \dfrac{19,58 \cdot 0,0754}{0,246}$

N	lg N	
19,58	1,2918	
0,0754	0,8774 — 2	
brojnik	2,1692 — 2	
0,246	0,3909 — 1	(—)
	2,7783 — 2	
x = 6,00	0,7783	

b) $x = \dfrac{0,1992^4}{32,8 \cdot \sqrt[3]{0,0678}}$

N	lg N	
0,1992	0,2993 — 1	
	× 4	
brojnik	1,1972 — 4	(+)
32,8	1,5159	
0,0678	0,8312 — 2	
	1,8312 — 3	(+)
	:3	
	0,6104 — 1	
	2,1263 — 1	
nazivnik	1,1263	(—)
0,000 117 7	0,0709 — 4	

c) $x = 0,0281^{1,25}$

N	lg N
0,0287	0,4579 — 2
	× 1,25
	0,5724 — 2,50
	− 0,50 + 0,50
0,001 181	0,0724 — 3

Važno za izračunavanje prirodnih logaritama:

$\ln 10^{\pm 1} = \pm\ 2,3026$, $\ln 10^{\pm 2} = \pm\ 4,6052$, $\ln 10^{\pm 3} = \pm\ 6,9078$
$\ln 10^{\pm 4} = \pm\ 9,2103$, $\ln 10^{\pm 5} = \pm\ 11,5129$, $\ln 10^{\pm 6} = \pm\ 13,8155$
$\ln 10^{\pm 7} = \pm\ 16,1181$, $\ln 10^{\pm 8} = \pm\ 18,4207$, $\ln 10^{\pm 9} = \pm\ 20,7234$

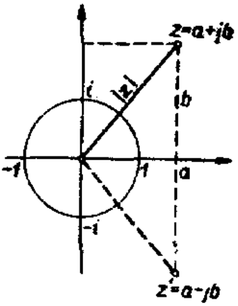
Primjeri: a) ln 37600 = ?

ln 37 600 = ln ($376 \cdot 100$) = ln 376 + ln 100 = 5,9296 + 4,6052 = 10,5348

b) ln 0,0376 = ?

ln 0,0376 = ln ($376 \cdot 10^{-4}$ = ln 376 + ln 10^{-4} = 5,9296 — 9,2103 = — 3,2807

11. Kompleksni brojevi (značenje vidi i u 2, tačka 6 (str. 18)



Mogu se predočiti u brojnoj ravnini kao tačke s koordinatama a i b ili u polarnim koordinatama.

Ako je $z_1 = a_1 + jb_1$ i $z_2 = a_2 + jb_2$, tada je

$$z_1 \pm z_2 = (a_1 \pm a_2) + j(b_1 \pm b_2)$$

Ako je $z_1 = z_2$, tada je $a_1 = a_2$ i $b_1 = b_2$

Ako je $z_1 = 0$, tada je $a_1 = 0$ i $b_1 = 0$

$$(a + jb)(a - jb) = a^2 + b^2$$

U polarnim koordinatama

$$z = a + jb = r(\cos\varphi + j\sin\varphi), \text{ gdje je } r = |z| = \sqrt{a^2 + b^2}$$

$$\cos\varphi = \frac{a}{r}, \quad \sin\varphi = \frac{b}{r}, \quad \operatorname{tg}\varphi = \frac{b}{a}$$

$$z_1 \cdot z_2 = r_1 \cdot r_2 [\cos(\varphi_1 + \varphi_2) + j\sin(\varphi_1 + \varphi_2)]$$

$$\frac{z_1}{z_2} = \frac{r_1}{r_2} [\cos(\varphi_1 - \varphi_2) + j\sin(\varphi_1 - \varphi_2)]$$

$$z^n = r^n (\cos n\varphi + j\sin n\varphi)$$

$(\cos\varphi \pm j\sin\varphi)^n = \cos n\varphi \pm j\sin n\varphi$ — Moivreova (Muavr) formula

$\cos\varphi \pm j\sin\varphi = e^{\pm j\varphi} = \exp(\pm j\varphi)$ — Eulerova (Ojler) formula

12. Determinante

Determinanta 2. stupnja:

$$\begin{vmatrix} a_1 & b_1 \\ a_2 & b_2 \end{vmatrix} = a_1 b_2 - a_2 b_1$$

Determinanta 3. stupnja:

$$\begin{vmatrix} a_1 & b_1 & c_1 \\ a_2 & b_2 & c_2 \\ a_3 & b_3 & c_3 \end{vmatrix} = a_1 \begin{vmatrix} b_2 & c_2 \\ b_3 & c_3 \end{vmatrix} - a_2 \begin{vmatrix} b_1 & c_1 \\ b_3 & c_3 \end{vmatrix} + a_3 \begin{vmatrix} b_1 & c_1 \\ b_2 & c_2 \end{vmatrix} =$$

$$= a_1 (b_2 c_3 - b_3 c_2) - a_2 (b_1 c_3 - b_3 c_1) + a_3 (b_1 c_2 - b_2 c_1)$$

Determinanta 3. stupnja može se izračunati i po ovoj shemi:



$$\left|\quad\quad\right| = \begin{cases} \;\; a_1 b_2 c_3 + a_2 b_3 c_1 + a_3 b_1 c_2 \\ - a_3 b_2 c_1 - a_2 b_1 c_3 - a_1 b_3 c_2 \end{cases}$$

Općenito, determinanta n-tog stupnja može se svesti na determinante (n-1)-stupnja (»subdeterminante«) na jednak način kao što se determinanta 3. stupnja svodi na determinante 2. stupnja. Subdeterminanta nekog elementa dobije se tako da se križaju stupac i redak u kojima taj element stoji. Predznak je pozitivan ako je zbroj rednog broja tog stupca i retka paran broj, a negativan ako je taj zbroj neparan.

13. Jednadžbe 1. stupnja (linearne jednadžbe)

a) Linearna jednadžba s jednom nepoznanicom može se uvijek svesti na oblik: $ax = b$. Odatle se dobije rješenje (korijen): $x = b/a$.

b) Dvije linearne jednadžbe ili više njih s odgovarajućim brojem nepoznanica mogu se općenito najlakše riješiti pomoću determinanata. Ovakav sistem linearnih jednadžbi može se svesti na oblik (primjer za 3 jednadžbe s 3 nepoznanice):

$$\begin{aligned} a_1 x + b_1 y + c_1 z &= d_1 \\ a_2 x + b_2 y + c_2 z &= d_2 \\ a_3 x + b_3 y + c_3 z &= d_3 \end{aligned} \qquad \text{za } D = \begin{vmatrix} a_1 & b_1 & c_1 \\ a_2 & b_2 & c_2 \\ a_3 & b_3 & c_3 \end{vmatrix} \neq 0$$

Rješenja jesu: $x = D_1/D$; $y = D_2/D$; $z = D_3/D$, gdje je

$$D_1 = \begin{vmatrix} d_1 & b_1 & c_1 \\ d_2 & b_2 & c_2 \\ d_3 & b_3 & c_3 \end{vmatrix}, \qquad D_2 = \begin{vmatrix} a_1 & d_1 & c_1 \\ a_2 & d_2 & c_2 \\ a_3 & d_3 & c_3 \end{vmatrix}, \qquad D_3 = \begin{vmatrix} a_1 & b_1 & d_1 \\ a_2 & b_2 & d_2 \\ a_3 & b_3 & d_3 \end{vmatrix}$$

Za sisteme od dvije ili više od tri jednadžbe vrijede analogne formule. Determinante D_1, D_2 ... sadrže u stupcu 1 odn. 2 odn.... brojeve s desne strane jednadžbi.

Primjer:

$$\begin{aligned} 7x - 2y &= 20 \\ 2x + 3y &= -5 \end{aligned} \qquad D = \begin{vmatrix} 7 & -2 \\ 2 & 3 \end{vmatrix} = 7 \cdot 3 + 2 \cdot 2 = 25$$

$$D_1 = \begin{vmatrix} 20 & -2 \\ -5 & 3 \end{vmatrix} = 20 \cdot 3 - 2 \cdot 5 = 50; \quad x = 50/25 = 2$$

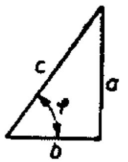
$$D_2 = \begin{vmatrix} 7 & 20 \\ 2 & -5 \end{vmatrix} = -7 \cdot 5 - 20 \cdot 2 = -75; \quad y = -75/25 = -3$$

14. Jednadžbe 2. stupnja (kvadratne jednadžbe)

Oblik jednadžbe	Korijeni (rješenja)	Diskriminanta
a) $x^2 + px + q = 0$	$x_{1,2} = -\frac{p}{2} \pm \sqrt{\frac{p^2}{4} - q}$	$\Delta = \frac{p^2}{4} - q$
b) $ax^2 + bx + c = 0$	$x_{1,2} = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$	$\Delta = b^2 - 4ac$
c) $ax^2 + c = 0$	$x_{1,2} = \pm \sqrt{-\frac{c}{a}}$	$\Delta = -\frac{c}{a}$
d) $ax^2 + bx\ [= x(ax + b)] = 0$	$x_1 = 0, \quad x_2 = -b/a$	—

Ako je $\Delta > 0$, korijeni su realni, ako je $\Delta = 0$, oba su korijena jednaka, a ako je $\Delta < 0$, korijeni su konjugirano kompleksni.

15. Trigonometrijske funkcije



Sinus:	$\sin\varphi = a/c$	— omjer protukatete i hipotenuze
Kosinus:	$\cos\varphi = b/c$	— omjer sukatete i hipotenuze
Tangens:	$\mathrm{tg}\,\varphi = a/b$	— omjer protukatete i sukatete
Kotangens:	$\mathrm{ctg}\,\varphi = b/a$	— omjer sukatete i protukatete

Predznaci i pretvorbe trigonometrijskih funkcija

Funkcija	Predznak funkcije za φ				Funkcije za kut φ			
	0 do $\frac{\pi}{2}$	$\frac{\pi}{2}$ do π	π do $\frac{3\pi}{2}$	$\frac{3\pi}{2}$ do 2π	$\pm\varphi$	$\frac{\pi}{2} \pm \varphi$	$\pi \pm \varphi$	$\frac{3\pi}{2} \pm \varphi$
sin	+	+	—	—	$\pm \sin\varphi$	$+ \cos\varphi$	$\mp \sin\varphi$	$- \cos\varphi$
cos	+	—	—	+	$+ \cos\varphi$	$\mp \sin\varphi$	$- \cos\varphi$	$\pm \sin\varphi$
tg	+	—	+	—	$\pm \mathrm{tg}\,\varphi$	$\mp \mathrm{ctg}\,\varphi$	$\pm \mathrm{tg}\,\varphi$	$\mp \mathrm{ctg}\,\varphi$
ctg	+	—	+	—	$\pm \mathrm{ctg}\,\varphi$	$\mp \mathrm{tg}\,\varphi$	$\pm \mathrm{ctg}\,\varphi$	$\mp \mathrm{tg}\,\varphi$

Važne vrijednosti trigonometrijskih funkcija

	0	$\frac{\pi}{2}$	π	$\frac{3}{2}\pi$	2π	30°	45°	60°
sin	0	+1	0	−1	0	$\frac{1}{2} = 0{,}5$	$\frac{1}{2}\sqrt{2} = 0{,}707$	$\frac{1}{2}\sqrt{3} = 0{,}866$
cos	+1	0	−1	0	+1	$\frac{1}{2}\sqrt{3} = 0{,}866$	$\frac{1}{2}\sqrt{2} = 0{,}707$	$\frac{1}{2} = 0{,}5$
tg	0	$\pm\infty$	0	$\pm\infty$	0	$\frac{1}{3}\sqrt{3} = 0{,}577$	1	$\sqrt{3} = 1{,}732$
ctg	$\pm\infty$	0	$\pm\infty$	0	$\pm\infty$	$\sqrt{3} = 1{,}732$	1	$\frac{1}{3}\sqrt{3} = 0{,}577$

Odnosi između funkcija istog kuta:

$$\operatorname{tg}\varphi = \frac{\sin\varphi}{\cos\varphi}; \quad \operatorname{ctg}\varphi = \frac{\cos\varphi}{\sin\varphi}; \quad \sec\varphi = \frac{2}{\cos\varphi}; \quad \operatorname{cosec}\varphi = \frac{1}{\sin\varphi}$$

$$\sin^2\varphi + \cos^2\varphi = 1$$

$$\sin\varphi = \sqrt{1-\cos^2\varphi} = \frac{\operatorname{tg}\varphi}{\sqrt{1+\operatorname{tg}^2\varphi}} = \frac{1}{\sqrt{1+\operatorname{ctg}^2\varphi}}$$

$$\cos\varphi = \sqrt{1-\sin^2\varphi} = \frac{1}{\sqrt{1+\operatorname{tg}^2\varphi}} = \frac{\operatorname{ctg}\varphi}{\sqrt{1+\operatorname{ctg}^2\varphi}}$$

$$\operatorname{tg}\varphi = \frac{\sin\varphi}{\sqrt{1-\sin^2\varphi}} = \frac{\sqrt{1-\cos^2\varphi}}{\cos\varphi} = \frac{1}{\operatorname{ctg}\varphi}$$

$$\operatorname{ctg}\varphi = \frac{\sqrt{1-\sin^2\varphi}}{\sin\varphi} = \frac{\cos\varphi}{\sqrt{1-\cos^2\varphi}} = \frac{1}{\operatorname{tg}\varphi}$$

$$\sin 2\varphi = 2\sin\varphi\cos\varphi; \quad \cos 2\varphi = \cos^2\varphi - \sin^2\varphi$$

Odnosi između funkcija dvaju kutova:

$$\sin(\alpha \pm \beta) = \sin\alpha\cos\beta \pm \cos\alpha\sin\beta; \quad \cos(\alpha \pm \beta) = \cos\alpha\cos\beta \mp \sin\alpha\sin\beta$$

$$\operatorname{tg}(\alpha \pm \beta) = \frac{\operatorname{tg}\alpha \pm \operatorname{tg}\beta}{1 \mp \operatorname{tg}\alpha\operatorname{tg}\beta}; \quad \operatorname{ctg}(\alpha \pm \beta) = \frac{\operatorname{ctg}\alpha\operatorname{ctg}\beta \mp 1}{\operatorname{ctg}\beta \pm \operatorname{ctg}\alpha}$$

$$\sin\alpha + \sin\beta = 2\sin\frac{\alpha+\beta}{2}\cos\frac{\alpha-\beta}{2}; \quad \sin\alpha - \sin\beta = 2\cos\frac{\alpha+\beta}{2}\sin\frac{\alpha-\beta}{2}$$

$$\cos\alpha + \cos\beta = 2\cos\frac{\alpha+\beta}{2}\cos\frac{\alpha-\beta}{2}; \quad \cos\alpha - \cos\beta = -2\sin\frac{\alpha+\beta}{2}\sin\frac{\alpha-\beta}{2}$$

$$\operatorname{tg}\alpha \pm \operatorname{tg}\beta = \frac{\sin(\alpha \pm \beta)}{\cos\alpha\cos\beta}; \quad \operatorname{ctg}\alpha \pm \operatorname{ctg}\beta = \frac{\sin(\beta \pm \alpha)}{\sin\alpha\sin\beta}$$

16. Lučna mjera (arcus)

Lučna mjera je duljina luka jediničnog kruga ($r = 1$) između krakova dotičnog kuta. Kut se može mjeriti u stupnjevima i u lučnoj mjeri. Evo nekih podataka za preračunavanje jedne mjere u drugu:

Mjera u stupnjevima φ^0	360°	180°	90°	$\varphi°$	1°	57°17′45″
Lučna mjera arcus $\varphi = \widehat{\varphi}$	2π	π	$\pi/2$	$\varphi° \cdot \pi/180$	0,01745	1

17. Hiperbolne funkcije

$$\operatorname{sh} x = \frac{e^x - e^{-x}}{2}; \quad \operatorname{ch} x = \frac{e^x + e^{-x}}{2};$$ sh — sinus hiperbolni, ch — kosinus hiperbolni

$$\operatorname{th} x = \frac{\operatorname{sh} x}{\operatorname{ch} x} = \frac{e^x - e^{-x}}{e^x + e^{-x}}; \quad \operatorname{cth} x = \frac{\operatorname{ch} x}{\operatorname{sh} x} = \frac{e^x + e^{-x}}{e^x - e^{-x}};$$ th, cth — tangens odn. kotang. hiperb.

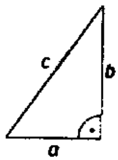
18. Odnosi između trigonometrijskih, hiperbolnih i eksponencijalnih funkcija

$$\cos x = \frac{e^{jx} + e^{-jx}}{2}; \quad \sin x = \frac{e^{jx} - e^{-jx}}{2j}; \quad \operatorname{tg} x = \frac{-j(e^{jx} - e^{-jx})}{e^{jx} + e^{-jx}}$$

$$\operatorname{ch} x + \operatorname{sh} x = e^{x}; \quad \operatorname{ch} x - \operatorname{sh} x = e^{-x}; \quad \operatorname{ch}^2 x - \operatorname{sh}^2 x = 1; \quad \operatorname{th} x \operatorname{cth} x = 1$$

$$\sin jx = j \operatorname{sh} x; \quad \cos jx = \operatorname{ch} x; \quad \operatorname{tg} jx = j \operatorname{th} x; \quad \operatorname{ctg} jx = -j \operatorname{cth} x$$

$$\operatorname{sh} jx = j \sin x; \quad \operatorname{ch} jx = \cos x; \quad \operatorname{th} jx = j \operatorname{tg} x; \quad \operatorname{cth} jx = -j \operatorname{ctg} x$$

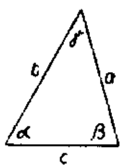


19. Pitagorin poučak

U pravokutnom trokutu vrijedi $c^2 = a^2 + b^2$, tj. kvadrat hipotenuze jednak je zbroju kvadrata nad obim katetama. Odatle se iz dvije poznate stranice trokuta može uvijek izračunati treća. Na primjer, poznato a i c,

$$b = \sqrt{c^2 - a^2}$$

20. Kosokutni trokut



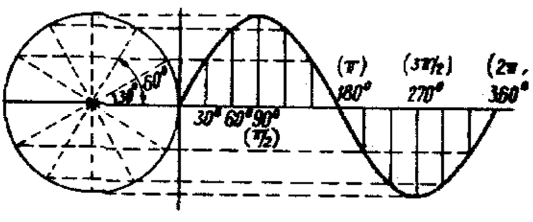
Sinusov poučak: $a : b : c = \sin \alpha : \sin \beta : \sin \gamma$

Kosinusov poučak: $a^2 = b^2 + c^2 - 2\,bc \cos \alpha$

$$b^2 = c^2 + a^2 - 2\,ac \cos \beta$$

$$c^2 = a^2 + b^2 - 2\,ab \cos \gamma$$

21. Konstrukcija sinusoide



22. Opseg kruga i elipse

Opseg kruga $= 2\pi r = \pi d$ (r - polumjer, d - promjer)

Opseg elipse $\approx 4\left(0{,}9827\,a + 0{,}3110\,b + 0{,}2867\dfrac{b^2}{a}\right)$. a — velika poluos, b — mala poluos.

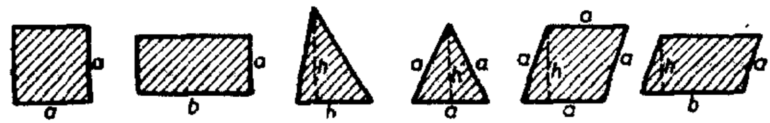
23. Guldinovo pravilo

a) Obilježimo li sa s duljinu neke krivulje koja rotira oko neke osi koju ne siječe, a sa r udaljenost težišta te krivulje od osi, tada rotaciona površina koju krivulja opisuje iznosi: $S = 2r\pi s$.

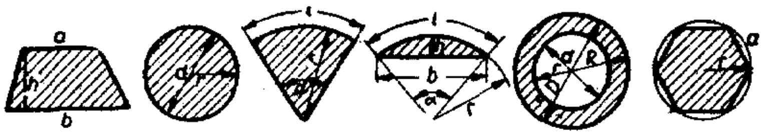


b) Obilježimo li sa S površinu nekog lika koji rotira oko neke osi koju ne siječe, a sa R udaljenost težišta lika od te osi, tada nastali rotacioni volumen iznosi: $V = 2R\pi S$. Npr. za cilindrični prsten lijevo: $V = 2\,R\pi S = 2\,R\pi \cdot r^2\pi = 2\,\pi^2 Rr^2$.

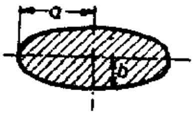
24. Površine geometrijskih likova



1. Kvadrat 2. Pravokutnik (paralelogram) 3. Trokut 4. Istostraničan trokut 5. Romb 6. Romboid



7. Trapez 8. Krug 9. Kružni isječak 10. Kružni odsječak 11. Kružni prsten 12. Pravilni šesterokut



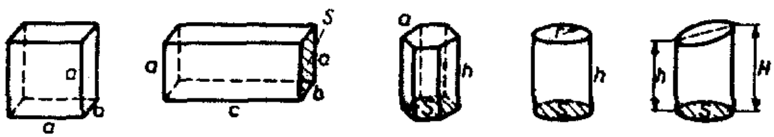
13. Elipsa

1) $S = a^2$	2) $S = ba$	3) $S = \frac{bh}{2}$	4) $S = \frac{ah}{2} = \frac{\sqrt{3}}{4} a^2 = 0{,}433\, a^2$
5) $S = ah$	6) $S = bh$	7) $S = \frac{1}{2}(a+b)h$	8) $S = r^2\pi = \frac{\pi}{4} d^2$

9) $S = \frac{1}{2} rl = \frac{\alpha^\circ \pi r^2}{360} = 0{,}008\,727\,\alpha^\circ r^2 = \frac{1}{2}\alpha r^2$	10) $S = \frac{1}{2}[rl - b(r-h)]$

11) $S = \pi(R^2 - r^2) = \pi(R+r)(R-r) = \frac{\pi}{4}(D^2 - d^2)$	12) $S = \frac{3\sqrt{3}}{2} r^2 = 2{,}598\, r^2$	13) $S = \pi ab$

25. Oplošja i volumeni geometrijskih tijela



1. Kocka 2. Kvadar 3. Prizma 4. Valjak 5. Skošeni valjak



6. Kosa prizma 7. Kosi valjak 8. Piramida 9. Stožac 10. Kugla

1) $A = 6a^2$ $V = a^3$	2) $A = 2(ab + bc + ac)$ $V = abc = Sc$	3) $A = 2S + 6ah$ $V = Sh$	4) $A = 2S + 2\pi rh$ $V = Sh$	5) $V = \frac{1}{2} S(H + h)$

6) $V = Sh$	7) $V = Sh$	8) $V = \frac{1}{3} Sh$	9) $V = \frac{1}{3} Sh$	10) $A = 4\pi r^2 = \pi d^2$ $V = \frac{4}{3}\pi r^3 = \frac{\pi}{6} d^3$

Derivacije i integrali

1. Pravila deriviranja

Neka su a, n konstante (dakle neovisne o x), a u, v, w funkcije od x (koje se mogu derivirati) pa vrijedi:

Funkcija	Derivacija funkcije
$y = a$	$y' = 0$
$y = af(x)$	$y' = af'(x)$
$y = u + v + w + \dots$	$y' = u' + v' + w' + \dots$
$y = uvw \dots$	$y' = (uvw \dots)\left(\frac{u'}{u} + \frac{v'}{v} + \frac{w'}{w} + \dots\right)$
$y = uv$	$y' = u'v + v'u$
$y = \frac{u}{v}$	$y' = \frac{u'v - v'u}{v^2}$
$y = y(x)$	$y' = \frac{1}{x'(y)}$ *
$y = f(u)$ gdje je $u = u(v)$, $v = v(w)$, $w = w(x)$	$y' = \frac{dy}{du} \cdot \frac{du}{dv} \cdot \frac{dv}{dw} \cdot \frac{dw}{dx}$

2. Derivacije nekih važnih funkcija

$y(x)$	$y'(x)$	$y(x)$	$y'(x)$	$y(x)$	$y'(x)$
x^n	nx^{n-1}	$\sin x$	$\cos x$	$\arcsin x$	$\frac{1}{\sqrt{1-x^2}}$
$\frac{1}{x}$	$-\frac{1}{x^2}$	$\cos x$	$-\sin x$	$\arccos x$	$-\frac{1}{\sqrt{1-x^2}}$
$\sqrt{x}$	$\frac{1}{2\sqrt{x}}$	$\operatorname{tg} x$	$\frac{1}{\cos^2 x}$	$\operatorname{arc\,tg} x$	$\frac{1}{1+x^2}$
e^x	e^x	$\operatorname{ctg} x$	$-\frac{1}{\sin^2 x}$	$\operatorname{arc\,ctg} x$	$-\frac{1}{1+x^2}$
e^{nx}	ne^{nx}	$\ln \sin x$	$\operatorname{ctg} x$	$\operatorname{sh} x$	$\operatorname{ch} x$
a^x	$a^x \ln a$	$\ln \cos x$	$-\operatorname{tg} x$	$\operatorname{ch} x$	$\operatorname{sh} x$
$\ln x$	$\frac{1}{x}$	$\ln \operatorname{tg} x$	$\frac{2}{\sin 2x}$	$\operatorname{th} x$	$\frac{1}{\operatorname{ch}^2 x}$
$\lg x$	$\frac{1}{x} \lg e$	$\ln \operatorname{ctg} x$	$-\frac{2}{\sin 2x}$	$\operatorname{cth} x$	$\frac{1}{\operatorname{sh}^2 x}$

* Pravilo potrebno za deriviranje inverznih funkcija: Derivacija inverzne funkcije jednaka je recipročnoj vrijednosti derivacije zadane funkcije.

3. Pravila integriranja

Neka su a i C konstante (dakle neovisne o x), a u i v funkcije od x pa vrijedi:

$$\int a\,\mathrm{d}u = a\int \mathrm{d}u = au + C$$

$$\int (u + v)\,\mathrm{d}x = \int u\,\mathrm{d}x + \int v\,\mathrm{d}x$$

$$\int u\,\mathrm{d}v = uv - \int v\,\mathrm{d}u \quad \text{(parcijalna integracija)}$$

Supstitucija: Ako se u izraz $\int f(x)\,\mathrm{d}x$ uvrsti $x = \varphi(z)$ dobije se

$$\int f(x)\,\mathrm{d}x = \int f[\varphi(z)]\,\varphi'(z)\,\mathrm{d}z \qquad \text{jer je } \mathrm{d}x = \varphi'(z)\,\mathrm{d}z$$

4. Onovne formule integriranja

$$\int x^n\,\mathrm{d}x = \frac{x^{n+1}}{n+1} \quad (n \neq -1)$$

$$\int \frac{\mathrm{d}x}{x} = \ln x$$

$$\int e^x\,\mathrm{d}x = e^x$$

$$\int a^x\,\mathrm{d}x = \frac{a^x}{\ln a}$$

$$\int \frac{\mathrm{d}x}{\sqrt{1-x^2}} = \arcsin x$$

$$\int \sin x\,\mathrm{d}x = -\cos x$$

$$\int \cos x\,\mathrm{d}x = \sin x$$

$$\int \frac{\mathrm{d}x}{\sin^2 x} = -\mathrm{ctg}\,x$$

$$\int \frac{\mathrm{d}x}{\cos^2 x} = \mathrm{tg}\,x$$

$$\int \frac{\mathrm{d}x}{1+x^2} = \mathrm{arc\,tg}\,x$$

5. Neke daljnje formule integriranja

$$\int \sqrt{a^2-x^2}\,\mathrm{d}x = \frac{x}{2}\sqrt{a^2-x^2} + \frac{a^2}{2}\arcsin\frac{x}{a}$$

$$\int \sqrt{x^2 \pm a^2}\,\mathrm{d}x = \frac{x}{2}\sqrt{x^2 \pm a^2} + \frac{a^2}{2}\ln\left(x + \sqrt{x^2 \pm a^2}\right)$$

$$\int \frac{\mathrm{d}x}{\sqrt{x^2 \pm a^2}} = \ln\left(x + \sqrt{x^2 \pm a^2}\right)$$

$$\int \frac{x\,\mathrm{d}x}{\sqrt{a^2-x^2}} = -\sqrt{a^2-x^2}$$

$$\int \frac{x\,\mathrm{d}x}{\sqrt{x^2 \pm a^2}} = \sqrt{x^2 \pm a^2}$$

$$\int \ln x\,\mathrm{d}x = x\ln x - x$$

$$\int e^{nx}\,\mathrm{d}x = \frac{1}{n}e^{nx}$$

$$\int \frac{\mathrm{d}x}{\sin x} = \ln\mathrm{tg}\,\frac{x}{2}$$

$$\int \frac{\mathrm{d}x}{\cos x} = \ln\mathrm{tg}\left(\frac{\pi}{4} + \frac{x}{2}\right)$$

$$\int \sin^2 x\,\mathrm{d}x = \frac{x}{2} - \frac{\sin 2x}{4}$$

$$\int \cos^2 x\,\mathrm{d}x = \frac{x}{2} + \frac{\sin 2x}{4}$$

$$\int \sin x\cos x\,\mathrm{d}x = \frac{\sin^2 x}{2}$$

6 a

Osnovne formule financijske matematike

1. Jednostavan kamatni račun

Obično se računa po formuli:

Kamate = zbroj kamatnih brojeva × kamatni faktor. Kamatni broj = = stoti dio glavnice × broj dana; kamatni faktor = kamatnjak : 360 (jer se, zbog jednostavnosti, obično uzima da godina ima svega 360, a ne 365 dana). Evo vrijednosti kamatnih faktora za uobičajene kamatnjake p:

p =	5	6	6,5	7	7,5	8	9	10
k.f. =	0,013 889	0,016 667	0,018 056	0,019 444	0,020 833	0,022 222	0,025 000	0, 027 778

Primjer: Industrijsko poduzeće zaračunava kupcu kamate za nepravovremeno plaćanje računa uz kamatnjak $p = 8\%$. Valja izračunati kamate za Din 800 000,– za 36 dana i za Din 530 000,– za 51 dan.

$$8000 \times 36 = 288\,000$$
$$5300 \times 51 = 270\,300$$
$$558\,300 \times 0{,}022\,222 = \text{Din } 12\,407,\text{–}$$

(Komunalne banke u našoj zemlji računaju za redovna obrtna sredstva kamatnjak 6%, a za namjenska i dopunska obrtna sredstva i veći kamatnjak. Za zakašnjenje u plaćanju jugosl. privredna poduzeća obračunavaju kamate obično uz kamatnjak između 8 i 12%.)

2. Složene kamate

$$K_n = K_o r^n \quad \text{gdje je } r = 1 + \frac{p}{100}$$

K_o — uložena glavnica, K_n — glavnica nakon n godina uz ukamaćenje od p% godišnje (p — kamatnjak).

Na primjer: Uloženo u banku K_o = Din 100 000,– uz 4% kamata godišnje ($p = 4$) na 10 godina ($n = 10$). $K_n = 100\,000 \cdot 1{,}04^{10} = 148\,024$. Ovo vrijedi ako se kamati priklapaju glavnici samo na kraju godine. Ako se kamati obračunavaju polugodišnje (četvrtgodišnje), tada treba računati s takozvanim relativnim kamatnjakom $p' = p/2$ ($p/4$), a n se podvostručuje (početvorostručuje). Tada bi bilo: $K_n = 100\,000 \cdot 1{,}02^{20} = 148\,595$, odnosno $K_n = 100\,000 \cdot 1{,}01^{40} = 148\,886$.

$$\text{Vrijednosti } r^n = \left(1 + \frac{p}{100}\right)^n$$

n \ p	2 %	3 %	3 1/2 %	4 %	4 1/2 %	5 %	5 1/2 %	6 %	7 %	8 %
3	1,061	1,093	1,109	1,125	1,141	1,158	1,174	1,191	1,225	1,260
5	1,104	1,159	1,188	1,217	1,246	1,276	1,307	1,338	1,403	1,469
8	1,172	1,267	1,317	1,369	1,422	1,477	1,535	1,594	1,718	1,851
10	1,219	1,344	1,411	1,480	1,553	1,629	1,708	1,791	1,967	2,159
15	1,346	1,558	1,675	1,801	1,935	2,079	2,232	2,397	2,759	3,172
20	1,486	1,806	1,990	2,191	2,412	2,653	2,918	3,207	3,870	4,661
25	1,641	2,094	2,363	2,666	3,005	3,386	3,813	4,292	5,427	6,848
30	1,811	2,427	2,807	3,243	3,745	4,322	4,984	5,743	7,612	10,063
40	2,208	3,262	3,959	4,801	5,816	7,040	8,513	10,286	14,974	21,725
50	2,692	4,384	5,585	7,107	9,033	11,467	14,542	18,420	29,457	46,902

3. Diskontiranje

Diskontirati znači izračunati sadašnju vrijednost K_0 glavnice K_n koja dospijeva za n godina:

$$K_0 = K_n/r^n = K_n v^n$$

gdje se $v = 1/r$ naziva diskontni faktor (r kao pod 2).

Na primjer: Koja je sadašnja vrijednost mjenice na Din 1 000 000,– ako mjenica dospijeva za 5 godina, a diskontna stopa (ukamaćenje) iznosi 4,5% ? — $K_0 = 1\,000\,000/1{,}045^5 = 802\,451$.

4. Konačna vrijednost periodičkih uložaka

Ako netko na početku svake godine ulaže u banku R dinara, tada će nakon n godina konačna vrijednost K ovih uložaka iznositi:

$$K = Rr\frac{r^n - 1}{r - 1}$$

5. Otplata duga uz jednake anuitete

Ako se dug od K dinara otplaćuje uz n jednakih godišnjih anuiteta A koji dospijevaju na kraju svake godine, tada je vrijednost pojedinog anuiteta:

$$A = K\frac{r^n (r - 1)}{r^n - 1} = Ka \qquad a = \frac{r^n (r - 1)}{r^n - 1}$$

Vrijednosti za a navedene su u donjoj tablici.

Tablica anuiteta $a = \dfrac{r^n (r - 1)}{r^n - 1}$

n \ p	2 %	3 %	3 ½ %	4 %	4 ½ %	5 %	5 ½ %	6 %	7 %	8 %
3	0,3468	0,3535	0,3569	0,3603	0,3638	0,3672	0,3707	0,3741	0,3811	0,3880
4	0,2626	0,2690	0,2723	0,2755	0,2787	0,2820	0,2853	0,2886	0,2952	0,3019
5	0,2122	0,2184	0,2215	0,2246	0,2278	0,2310	0,2342	0,2374	0,2439	0,2505
6	0,1785	0,1846	0,1877	0,1908	0,1939	0,1970	0,2002	0,2034	0,2098	0,2163
7	0,1545	0,1605	0,1635	0,1666	0,1697	0,1728	0,1760	0,1791	0,1856	0,1921
8	0,1365	0,1425	0,1455	0,1485	0,1516	0,1547	0,1579	0,1610	0,1675	0,1740
9	0,1225	0,1284	0,1314	0,1345	0,1376	0,1407	0,1438	0,1470	0,1535	0,1601
10	0,1113	0,1172	0,1202	0,1233	0,1264	0,1295	0,1327	0,1359	0,1424	0,1490
12	0,0946	0,1005	0,1035	0,1066	0,1097	0,1128	0,1160	0,1193	0,1259	0,1327
15	0,0778	0,0838	0,0868	0,0899	0,0931	0,0963	0,0996	0,1030	0,1098	0,1168
18	0,0667	0,0727	0,0758	0,0790	0,0822	0,0855	0,0889	0,0924	0,0994	0,1067
20	0,0612	0,0672	0,0704	0,0736	0,0769	0,0802	0,0837	0,0872	0,0944	0,1018
22	0,0566	0,0627	0,0659	0,0692	0,0725	0,0760	0,0795	0,0830	0,0904	0,0980
25	0,0512	0,0574	0,0607	0,0640	0,0674	0,0710	0,0745	0,0782	0,0858	0,0937
30	0,0446	0,0510	0,0544	0,0578	0,0614	0,0651	0,0688	0,0726	0,0806	0,0888
35	0,0400	0,0465	0,0500	0,0536	0,0573	0,0611	0,0650	0,0690	0,0772	0,0858
40	0,0366	0,0433	0,0468	0,0505	0,0543	0,0583	0,0623	0,0665	0,0750	0,0838
50	0,0318	0,0389	0,0426	0,0466	0,0506	0,0548	0,0591	0,0634	0,0725	0,0817

* Obično se računa pomoću tablica. Vidi npr. »Tablice financijske i aktuarske matematike« uz knjigu V Vranića »Matematika za ekonomiste«, 2. dio, (Školska knjiga, Zagreb).

7 Potencije, korijeni, recipročne vrijednosti, opseg i površina kruga

n	n^2	n^3	$\sqrt{n}$	$\sqrt[3]{n}$	$\ln n$	$\frac{1000}{n}$	πn	$\frac{\pi n^2}{4}$	n
1	1	1	1,0000	1,0000	0,0000	1000,000	3,142	0,7854	1
2	4	8	1,4142	1,2599	0,6931	500,000	6,283	3,1416	2
3	9	27	1,7321	1,4422	1,0986	333,333	9,425	7,0686	3
4	16	64	2,0000	1,5874	1,3863	250,000	12,566	12,5664	4
5	25	125	2,2361	1,7100	1,6094	200,000	15,708	19,6350	5
6	36	216	2,4495	1,8171	1,7918	166,667	18,850	28,2743	6
7	49	343	2,6458	1,9129	1,9459	142,857	21,991	38,4845	7
8	64	512	2,8284	2,0000	2,0794	125,000	25,133	50,2655	8
9	81	729	3,0000	2,0801	2,1972	111,111	28,274	63,6173	9
10	1 00	1 000	3,1623	2,1544	2,3026	100,000	31,416	78,5398	10
11	1 21	1 331	3,3166	2,2240	2,3979	90,9091	34,558	95,0332	11
12	1 44	1 728	3,4641	2,2894	2,4849	83,3333	37,699	113,097	12
13	1 69	2 197	3,6056	2,3513	2,5649	76,9231	40,841	132,732	13
14	1 96	2 744	3,7417	2,4101	2,6391	71,4286	43,982	153,938	14
15	2 25	3 375	3,8730	2,4662	2,7081	66,6667	47,124	176,715	15
16	2 56	4 096	4,0000	2,5198	2,7726	62,5000	50,265	201,062	16
17	2 89	4 913	4,1231	2,5713	2,8332	58,8235	53,407	226,980	17
18	3 24	5 832	4,2426	2,6207	2,8904	55,5556	56,549	254,469	18
19	3 61	6 859	4,3589	2,6684	2,9444	52,6316	59,690	283,529	19
20	4 00	8 000	4,4721	2,7144	2,9957	50,0000	62,832	314,159	20
21	4 41	9 261	4,5826	2,7589	3,0445	47,6190	65,973	346,361	21
22	4 84	10 648	4,6904	2,8020	3,0910	45,4545	69,115	380,133	22
23	5 29	12 167	4,7958	2,8439	3,1355	43,4783	72,257	415,476	23
24	5 76	13 824	4,8990	2,8845	3,1781	41,6667	75,398	452,389	24
25	6 25	15 625	5,0000	2,9240	3,2189	40,0000	78,540	490,874	25
26	6 76	17 576	5,0990	2,9625	3,2581	38,4615	81,681	530,929	26
27	7 29	19 683	5,1962	3,0000	3,2958	37,0370	84,823	572,555	27
28	7 84	21 952	5,2915	3,0366	3,3322	35,7143	87,965	615,752	28
29	8 41	24 389	5,3852	3,0723	3,3673	34,4828	91,106	660,520	29
30	9 00	27 000	5,4772	3,1072	3,4012	33,3333	94,248	706,858	30
31	9 61	29 791	5,5678	3,1414	3,4340	32,2581	97,389	754,768	31
32	10 24	32 768	5,6569	3,1748	3,4657	31,2500	100,531	804,248	32
33	10 89	35 937	5,7446	3,2075	3,4965	30,3030	103,673	855,299	33
34	11 56	39 304	5,8310	3,2396	3,5264	29,4118	106,814	907,920	34
35	12 25	42 875	5,9161	3,2711	3,5553	28,5714	109,956	962,113	35
36	12 96	46 656	6,0000	3,3019	3,5835	27,7778	113,097	1017,88	36
37	13 69	50 653	6,0828	3,3322	3,6109	27,0270	116,239	1075,21	37
38	14 44	54 872	6,1644	3,3620	3,6376	26,3158	119,381	1134,11	38
39	15 21	59 319	6,2450	3,3912	3,6636	25,6410	122,522	1194,59	39
40	16 00	64 000	6,3246	3,4200	3,6889	25,0000	125,66	1256,64	40
41	16 81	68 921	6,4031	3,4482	3,7136	24,3902	128,81	1320,25	41
42	17 64	74 088	6,4807	3,4760	3,7377	23,8095	131,95	1385,44	42
43	18 49	79 507	6,5574	3,5034	3,7612	23,2558	135,09	1452,20	43
44	19 36	85 184	6,6332	3,5303	3,7842	22,7273	138,23	1520,53	44
45	20 25	91 125	6,7082	3,5569	3,8067	22,2222	141,37	1590,43	45
46	21 16	97 336	6,7823	3,5830	3,8286	21,7391	144,51	1661,90	46
47	22 09	103 823	6,8557	3,6088	3,8501	21,2766	147,65	1734,94	47
48	23 04	110 592	6,9282	3,6342	3,8712	20,8333	150,80	1809,56	48
49	24 01	117 649	7,0000	3,6593	3,8918	20,4082	153,94	1885,74	49
50	25 00	125 000	7,0711	3,6840	3,9120	20,0000	157,08	1963,50	50

Potencije, korijeni, recipročne vrijednosti, opseg i površina kruga

n	n^2	n^3	$\sqrt{n}$	$\sqrt[3]{n}$	$\ln n$	$\frac{1000}{n}$	πn	$\frac{\pi n^2}{4}$	n
50	25 00	125 000	7,0711	3,6840	3,9120	20,0000	157,08	1963,50	50
51	26 01	132 651	7,1414	3,7084	3,9318	19,6078	160,22	2042,82	51
52	27 04	140 608	7,2111	3,7325	3,9512	19,2308	163,36	2123,72	52
53	28 09	148 877	7,2801	3,7563	3,9703	18,8679	166,50	2206,18	53
54	29 16	157 464	7,3485	3,7798	3,9890	18,5185	169,65	2290,22	54
55	30 25	166 375	7,4162	3,8030	4,0073	18,1818	172,79	2375,83	55
56	31 36	175 616	7,4833	3,8259	4,0254	17,8571	175,93	2463,01	56
57	32 49	185 193	7,5498	3,8485	4,0431	17,5439	179,07	2551,76	57
58	33 64	195 112	7,6158	3,8709	4,0604	17,2414	182,21	2642,08	58
59	34 81	205 379	7,6811	3,8930	4,0775	16,9492	185,35	2733,97	59
60	36 00	216 000	7,7460	3,9149	4,0943	16,6667	188,50	2827,43	60
61	37 21	226 981	7,8102	3,9365	4,1109	16,3934	191,64	2922,47	61
62	38 44	238 328	7,8740	3,9579	4,1271	16,1290	194,78	3019,07	62
63	39 69	250 047	7,9373	3,9791	4,1431	15,8730	197,92	3117,25	63
64	40 96	262 144	8,0000	4,0000	4,1589	15,6250	201,06	3216,99	64
65	42 25	274 625	8,0623	4,0207	4,1744	15,3846	204,20	3318,31	65
66	43 56	287 496	8,1240	4,0412	4,1897	15,1515	207,35	3421,19	66
67	44 89	300 763	8,1854	4,0615	4,2047	14,9254	210,49	3525,65	67
68	46 24	314 432	8,2462	4,0817	4,2195	14,7059	213,63	3631,68	68
69	47 61	328 509	8,3066	4,1016	4,2341	14,4928	216,77	3739,28	69
70	49 00	343 000	8,3666	4,1213	4,2485	14,2857	219,91	3848,45	70
71	50 41	357 911	8,4261	4,1408	4,2627	14,0845	223,05	3959,19	71
72	51 84	373 248	8,4853	4,1602	4,2767	13,8889	226,19	4071,50	72
73	53 29	389 017	8,5440	4,1793	4,2905	13,6986	229,34	4185,39	73
74	54 76	405 224	8,6023	4,1983	4,3041	13,5135	232,48	4300,84	74
75	56 25	421 875	8,6603	4,2172	4,3175	13,3333	235,62	4417,86	75
76	57 76	438 976	8,7178	4,2358	4,3307	13,1579	238,76	4536,46	76
77	59 29	456 533	8,7750	4,2543	4,3438	12,9870	241,90	4656,63	77
78	60 84	474 552	8,8318	4,2727	4,3567	12,8205	245,04	4778,36	78
79	62 41	493 039	8,8882	4,2908	4,3694	12,6582	248,19	4901,67	79
80	64 00	512 000	8,9443	4,3089	4,3820	12,5000	251,33	5026,55	80
81	65 61	531 441	9,0000	4,3267	4,3944	12,3457	254,47	5153,00	81
82	67 24	551 368	9,0554	4,3445	4,4067	12,1951	257,61	5281,02	82
83	68 89	571 787	9,1104	4,3621	4,4188	12,0482	260,75	5410,61	83
84	70 56	592 704	9,1652	4,3795	4,4308	11,9048	263,89	5541,77	84
85	72 25	614 125	9,2195	4,3968	4,4427	11,7647	267,04	5674,50	85
86	73 96	636 056	9,2736	4,4140	4,4543	11,6279	270,18	5808,80	86
87	75 69	658 503	9,3274	4,4310	4,4659	11,4943	273,32	5944,68	87
88	77 44	681 472	9,3808	4,4480	4,4773	11,3636	276,46	6082,12	88
89	79 21	704 969	9,4340	4,4647	4,4886	11,2360	279,60	6221,14	89
90	81 00	729 000	9,4868	4,4814	4,4998	11,1111	282,74	6361,73	90
91	82 81	753 571	9,5394	4,4979	4,5109	10,9890	285,88	6503,88	91
92	84 64	778 688	9,5917	4,5144	4,5218	10,8696	289,03	6647,61	92
93	86 49	804 357	9,6437	4,5307	4,5326	10,7527	292,17	6792,91	93
94	88 36	830 584	9,6954	4,5468	4,5433	10,6383	295,31	6939,78	94
95	90 25	857 375	9,7468	4,5629	4,5539	10,5263	298,45	7088,22	95
96	92 16	884 736	9,7980	4,5789	4,5643	10,4167	301,59	7238,23	96
97	94 09	912 673	9,8489	4,5947	4,5747	10,3093	304,73	7389,81	97
98	96 04	941 192	9,8995	4,6104	4,5850	10,2041	307,88	7542,96	98
99	98 01	970 299	9,9499	4,6261	4,5951	10,1010	311,02	7697,69	99
100	1 00 00	1 000 000	10,0000	4,6416	4,6052	10,0000	314,16	7853,98	100

8

Sinus i kosinus

Sinus 0° → 45°

Min.	0	6	12	18	24	30	36	42	48	54	60	
Stp	,0	,1	,2	,3	,4	,5	,6	,7	,8	,9	1,0	
0	0,0000	0017	0035	0052	0070	0087	0105	0122	0140	0157	0175	89
1	0175	0192	0209	0227	0244	0262	0279	0297	0314	0332	0349	88
2	0349	0366	0384	0401	0419	0436	0454	0471	0488	0506	0523	87
3	0523	0541	0558	0576	0593	0610	0628	0645	0663	0680	0698	86
4	0698	0715	0732	0750	0767	0785	0802	0819	0837	0854	0872	85
5	0,0872	0889	0906	0924	0941	0958	0976	0993	1011	1028	1045	84
6	1045	1063	1080	1097	1115	1132	1149	1167	1184	1201	1219	83
7	1219	1236	1253	1271	1288	1305	1323	1340	1357	1374	1392	82
8	1392	1409	1426	1444	1461	1478	1495	1513	1530	1547	1564	81
9	1564	1582	1599	1616	1633	1650	1668	1685	1702	1719	1736	80
10	0,1736	1754	1771	1788	1805	1822	1840	1857	1874	1891	1908	79
11	1908	1925	1942	1959	1977	1994	2011	2028	2045	2062	2079	78
12	2079	2096	2113	2130	2147	2164	2181	2198	2215	2233	2250	77
13	2250	2267	2284	2300	2317	2334	2351	2368	2385	2402	2419	76
14	2419	2436	2453	2470	2487	2504	2521	2538	2554	2571	2588	75
15	0,2588	2605	2622	2639	2656	2672	2689	2706	2723	2740	2756	74
16	2756	2773	2790	2807	2823	2840	2857	2874	2890	2907	2924	73
17	2924	2940	2957	2974	2990	3007	3024	3040	3057	3074	3090	72
18	3090	3107	3123	3140	3156	3173	3190	3206	3223	3239	3256	71
19	3256	3272	3289	3305	3322	3338	3355	3371	3387	3404	3420	70
20	0,3420	3437	3453	3469	3486	3502	3518	3535	3551	3567	3584	69
21	3584	3600	3616	3633	3649	3665	3681	3697	3714	3730	3746	68
22	3746	3762	3778	3795	3811	3827	3843	3859	3875	3891	3907	67
23	3907	3923	3939	3955	3971	3987	4003	4019	4035	4051	4067	66
24	4067	4083	4099	4115	4131	4147	4163	4179	4195	4210	4226	65
25	0,4226	4242	4258	4274	4289	4305	4321	4337	4352	4368	4384	64
26	4384	4399	4415	4431	4446	4462	4478	4493	4509	4524	4540	63
27	4540	4555	4571	4586	4602	4617	4633	4648	4664	4679	4695	62
28	4695	4710	4726	4741	4756	4772	4787	4802	4818	4833	4848	61
29	4848	4863	4879	4894	4909	4924	4939	4955	4970	4985	5000	60
30	0,5000	5015	5030	5045	5060	5075	5090	5105	5120	5135	5150	59
31	5150	5165	5180	5195	5210	5225	5240	5255	5270	5284	5299	58
32	5299	5314	5329	5344	5358	5373	5388	5402	5417	5432	5446	57
33	5446	5461	5476	5490	5505	5519	5534	5548	5563	5577	5592	56
34	5592	5606	5621	5635	5650	5664	5678	5693	5707	5721	5736	55
35	0,5736	5750	5764	5779	5793	5807	5821	5835	5850	5864	5878	54
36	5878	5892	5906	5920	5934	5948	5962	5976	5990	6004	6018	53
37	6018	6032	6046	6060	6074	6088	6101	6115	6129	6143	6157	52
38	6157	6170	6184	6198	6211	6225	6239	6252	6266	6280	6293	51
39	6293	6307	6320	6334	6347	6361	6374	6388	6401	6414	6428	50
40	0,6428	6441	6455	6468	6481	6494	6508	6521	6534	6547	6561	49
41	6561	6574	6587	6600	6613	6626	6639	6652	6665	6678	6691	48
42	6691	6704	6717	6730	6743	6756	6769	6782	6794	6807	6820	47
43	6820	6833	6845	6858	6871	6884	6896	6909	6921	6934	6947	46
44	0,6947	6959	6972	6984	6997	7009	7022	7034	7046	7059	7071	45
	1,0	,9	,8	,7	,6	,5	,4	,3	,2	,1	,0	Stp
	60	54	48	42	36	30	24	18	12	6	0	Min.

Cosinus 45° → 90°

Sinus i kosinus

Sinus 45° → 90°

Min.	0	6	12	18	24	30	36	42	48	54	60	
Stp	,0	,1	,2	,3	,4	,5	,6	,7	,8	,9	1,0	
45	0,7071	7083	7096	7108	7120	7133	7145	7157	7169	7181	7193	44
46	7193	7206	7218	7230	7242	7254	7266	7278	7290	7302	7314	43
47	7314	7325	7337	7349	7361	7373	7385	7396	7408	7420	7431	42
48	7431	7443	7455	7466	7478	7490	7501	7513	7524	7536	7547	41
49	7547	7559	7570	7581	7593	7604	7615	7627	7638	7649	7660	40
50	0,7660	7672	7683	7694	7705	7716	7727	7738	7749	7760	7771	39
51	7771	7782	7793	7804	7815	7826	7837	7848	7859	7869	7880	38
52	7880	7891	7902	7912	7923	7934	7944	7955	7965	7976	7986	37
53	7986	7997	8007	8018	8028	8039	8049	8059	8070	8080	8090	36
54	8090	8100	8111	8121	8131	8141	8151	8161	8171	8181	8192	35
55	0,8192	8202	8211	8221	8231	8241	8251	8261	8271	8281	8290	34
56	8290	8300	8310	8320	8329	8339	8348	8358	8368	8377	8387	33
57	8387	8396	8406	8415	8425	8434	8443	8453	8462	8471	8480	32
58	8480	8490	8499	8508	8517	8526	8536	8545	8554	8563	8572	31
59	8572	8581	8590	8599	8607	8616	8625	8634	8643	8652	8660	30
60	0,8660	8669	8678	8686	8695	8704	8712	8721	8729	8738	8746	29
61	8746	8755	8763	8771	8780	8788	8796	8805	8813	8821	8829	28
62	8829	8838	8846	8854	8862	8870	8878	8886	8894	8902	8910	27
63	8910	8918	8926	8934	8942	8949	8957	8965	8973	8980	8988	26
64	8988	8996	9003	9011	9018	9026	9033	9041	9048	9056	9063	25
65	0,9063	9070	9078	9085	9092	9100	9107	9114	9121	9128	9135	24
66	9135	9143	9150	9157	9164	9171	9178	9184	9191	9198	9205	23
67	9205	9212	9219	9225	9232	9239	9245	9252	9259	9265	9272	22
68	9272	9278	9285	9291	9298	9304	9311	9317	9323	9330	9336	21
69	9336	9342	9348	9354	9361	9367	9373	9379	9385	9391	9397	20
70	0,9397	9403	9409	9415	9421	9426	9432	9438	9444	9449	9455	19
71	9455	9461	9466	9472	9478	9483	9489	9494	9500	9505	9511	18
72	9511	9516	9521	9527	9532	9537	9542	9548	9553	9558	9563	17
73	9563	9568	9573	9578	9583	9588	9593	9598	9603	9608	9613	16
74	9613	9617	9622	9627	9632	9636	9641	9646	9650	9655	9659	15
75	0,9659	9664	9668	9673	9677	9681	9686	9690	9694	9699	9703	14
76	9703	9707	9711	9715	9720	9724	9728	9732	9736	9740	9744	13
77	9744	9748	9751	9755	9759	9763	9767	9770	9774	9778	9781	12
78	9781	9785	9789	9792	9796	9799	9803	9806	9810	9813	9816	11
79	9816	9820	9823	9826	9829	9833	9836	9839	9842	9845	9848	10
80	0,9848	9851	9854	9857	9860	9863	9866	9869	9871	9874	9877	9
81	9877	9880	9882	9885	9888	9890	9893	9895	9898	9900	9903	8
82	9903	9905	9907	9910	9912	9914	9917	9919	9921	9923	9925	7
83	9925	9928	9930	9932	9934	9936	9938	9940	9942	9943	9945	6
84	9945	9947	9949	9951	9952	9954	9956	9957	9959	9960	9962	5
85	0,9962	9963	9965	9966	9968	9969	9971	9972	9973	9974	9976	4
86	9976	9977	9978	9979	9980	9981	9982	9983	9984	9985	9986	3
87	9986	9987	9988	9989	9990	9990	9991	9992	9993	9993	9994	2
88	9994	9995	9995	9996	9996	9997	9997	9997	9998	9998	9998	1
89	0,9998	9999	9999	9999	9999	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	0
	1,0	,9	,8	,7	,6	,5	,4	,3	,2	,1	,0	Stp
	60	54	48	42	36	30	24	18	12	6	0	Min.

Cosinus 0° → 45°

9

Tangens i kotangens

Tangens 0° → 45°

Min.	0	6	12	18	24	30	36	42	48	54	60	
Stp	,0	,1	,2	,3	,4	,5	,6	,7	,8	,9	1,0	
0	0,0000	0017	0035	0052	0070	0087	0105	0122	0140	0157	0175	89
1	0175	0192	0209	0227	0244	0262	0279	0297	0314	0332	0349	88
2	0349	0367	0384	0402	0419	0437	0454	0472	0489	0507	0524	87
3	0524	0542	0559	0577	0594	0612	0629	0647	0664	0682	0699	86
4	0699	0717	0734	0752	0769	0787	0805	0822	0840	0857	0875	85
5	0,0875	0892	0910	0928	0945	0963	0981	0998	1016	1033	1051	84
6	1051	1069	1086	1104	1122	1139	1157	1175	1192	1210	1228	83
7	1228	1246	1263	1281	1299	1317	1334	1352	1370	1388	1405	82
8	1405	1423	1441	1459	1477	1495	1512	1530	1548	1566	1584	81
9	1584	1602	1620	1638	1655	1673	1691	1709	1727	1745	1763	80
10	0,1763	1781	1799	1817	1835	1853	1871	1890	1908	1926	1944	79
11	1944	1962	1980	1998	2016	2035	2053	2071	2089	2107	2126	78
12	2126	2144	2162	2180	2199	2217	2235	2254	2272	2290	2309	77
13	2309	2327	2345	2364	2382	2401	2419	2438	2456	2475	2493	76
14	2493	2512	2530	2549	2568	2586	2605	2623	2642	2661	2679	75
15	0,2679	2698	2717	2736	2754	2773	2792	2811	2830	2849	2867	74
16	2867	2886	2905	2924	2943	2962	2981	3000	3019	3038	3057	73
17	3057	3076	3096	3115	3134	3153	3172	3191	3211	3230	3249	72
18	3249	3269	3288	3307	3327	3346	3365	3385	3404	3424	3443	71
19	3443	3463	3482	3502	3522	3541	3561	3581	3600	3620	3640	70
20	9,3640	3659	3679	3699	3719	3739	3759	3779	3790	3819	3839	69
21	3839	3859	3879	3899	3919	3939	3959	3979	4000	4020	4040	68
22	4040	4061	4081	4101	4122	4142	4163	4183	4204	4224	4245	67
23	4245	4265	4286	4307	4327	4348	4369	4390	4411	4431	4452	66
24	4452	4473	4494	4515	4536	4557	4578	4599	4621	4642	4663	65
25	0,4663	4684	4706	4727	4748	4770	4791	4813	4834	4856	4877	64
26	4877	4899	4921	4942	4964	4986	5008	5029	5051	5073	5095	63
27	5095	5117	5139	5161	5184	5206	5228	5250	5272	5295	5317	62
28	5317	5340	5362	5384	5407	5430	5452	5475	5498	5520	5543	61
29	5543	5566	5589	5612	5635	5658	5681	5704	5727	5750	5774	60
30	0,5774	5797	5820	5844	5867	5890	5914	5938	5961	5985	6009	59
31	6009	6032	6056	6080	6104	6128	6152	6176	6200	6224	6249	58
32	6249	6273	6297	6322	6346	6371	6395	6420	6445	6469	6494	57
33	6494	6519	6544	6569	6594	6619	6644	6669	6694	6720	6745	56
34	6745	6771	6795	6822	6847	6873	6899	6924	6950	6976	7002	55
35	0,7002	7028	7054	7080	7107	7133	7159	7186	7212	7239	7265	54
36	7265	7292	7319	7346	7373	7400	7427	7454	7481	7508	7536	53
37	7536	7563	7590	7618	7646	7673	7701	7729	7757	7785	7813	52
38	7813	7841	7869	7898	7926	7954	7983	8012	8040	8069	8098	51
39	8098	8127	8156	8185	8214	8243	8273	8302	8332	8361	8391	50
40	0,8391	8421	8451	8481	8511	8541	8571	8601	8632	8662	8693	49
41	8693	8724	8754	8785	8816	8847	8878	8910	8941	8972	9004	48
42	9004	9036	9067	9099	9131	9163	9195	9228	9260	9293	9325	47
43	9325	9358	9391	9424	9457	9490	9523	9556	9590	9623	9657	46
44	0,9657	9691	9725	9759	9793	9827	9861	9896	9930	9965	1,0000	45
	1,0	,9	,8	,7	,6	,5	,4	,3	,2	,1	,0	Stp
	60	54	48	42	36	30	24	18	12	6	0	Min.

Cotangens 45° → 90°

Tangens i kotangens

Tangens 45° → 90°

Min.	0	6	12	18	24	30	36	42	48	54	60	
Stp	,0	,1	,2	,3	,4	,5	,6	,7	,8	,9	1,0	
45	1,000	1,003	1,007	1,011	1,014	1,018	1,021	1,025	1,028	1,032	1,036	44
46	1,036	1,039	1,043	1,046	1,050	1,054	1,057	1,061	1,065	1,069	1,072	43
47	1,072	1,076	1,080	1,084	1,087	1,091	1,095	1,099	1,103	1,107	1,111	42
48	1,111	1,115	1,118	1,122	1,126	1,130	1,134	1,138	1,142	1,146	1,150	41
49	1,150	1,154	1,159	1,163	1,167	1,171	1,175	1,179	1,183	1,188	1,192	40
50	1,192	1,196	1,200	1,205	1,209	1,213	1,217	1,222	1,226	1,230	1,235	39
51	1,235	1,239	1,244	1,248	1,253	1,257	1,262	1,266	1,271	1,275	1,280	38
52	1,280	1,285	1,289	1,294	1,299	1,303	1,308	1,313	1,317	1,322	1,327	37
53	1,327	1,332	1,337	1,342	1,347	1,351	1,356	1,361	1,366	1,371	1,376	36
54	1,376	1,381	1,387	1,392	1,397	1,402	1,407	1,412	1,418	1,423	1,428	35
55	1,428	1,433	1,439	1,444	1,450	1,455	1,460	1,466	1,471	1,477	1,483	34
56	1,483	1,488	1,494	1,499	1,505	1,511	1,517	1,522	1,528	1,534	1,540	33
57	1,540	1,546	1,552	1,558	1,564	1,570	1,576	1,582	1,588	1,594	1,600	32
58	1,600	1,607	1,613	1,619	1,625	1,632	1,638	1,645	1,651	1,658	1,664	31
59	1,664	1,671	1,678	1,684	1,691	1,698	1,704	1,711	1,718	1,725	1,732	30
60	1,732	1,739	1,746	1,753	1,760	1,767	1,775	1,782	1,789	1,797	1,804	29
61	1,804	1,811	1,819	1,827	1,834	1,842	1,849	1,857	1,865	1,873	1,881	28
62	1,881	1,889	1,897	1,905	1,913	1,921	1,929	1,937	1,946	1,954	1,963	27
63	1,963	1,971	1,980	1,988	1,997	2,006	2,014	2,023	2,032	2,041	2,050	26
64	2,050	2,059	2,069	2,078	2,087	2,097	2,106	2,116	2,125	2,135	2,145	25
65	2,145	2,154	2,164	2,174	2,184	2,194	2,204	2,215	2,225	2,236	2,246	24
66	2,246	2,257	2,267	2,278	2,289	2,300	2,311	2,322	2,333	2,344	2,356	23
67	2,356	2,367	2,379	2,391	2,402	2,414	2,426	2,438	2,450	2,463	2,475	22
68	2,475	2,488	2,500	2,513	2,526	2,539	2,552	2,565	2,578	2,592	2,605	21
69	2,605	2,619	2,633	2,646	2,660	2,675	2,689	2,703	2,718	2,733	2,747	20
70	2,747	2,762	2,778	2,793	2,808	2,824	2,840	2,856	2,872	2,888	2,904	19
71	2,904	2,921	2,937	2,954	2,971	2,989	3,006	3,024	3,042	3,060	3,078	18
72	3,078	3,096	3,115	3,133	3,152	3,172	3,191	3,211	3,230	3,251	3,271	17
73	3,271	3,291	3,312	3,333	3,354	3,376	3,398	3,420	3,442	3,465	3,487	16
74	3,487	3,511	3,534	3,558	3,582	3,606	3,630	3,655	3,681	3,706	3,732	15
75	3,732	3,758	3,785	3,812	3,839	3,867	3,895	3,923	3,952	3,981	4,011	14
76	4,011	4,041	4,071	4,102	4,134	4,165	4,198	4,230	4,264	4,297	4,331	13
77	4,331	4,366	4,402	4,437	4,474	4,511	4,548	4,586	4,625	4,665	4,705	12
78	4,705	4,745	4,787	4,829	4,872	4,915	4,959	5,005	5,050	5,097	5,145	11
79	5,145	5,193	5,242	5,292	5,343	5,396	5,449	5,503	5,558	5,614	5,671	10
80	5,671	5,730	5,789	5,850	5,912	5,976	6,041	6,107	6,174	6,243	6,314	9
81	6,314	6,386	6,460	6,535	6,612	6,691	6,772	6,855	6,940	7,026	7,115	8
82	7,115	7,207	7,300	7,396	7,495	7,596	7,700	7,806	7,916	8,028	8,144	7
83	8,144	8,264	8,386	8,513	8,643	8,777	8,915	9,058	9,205	9,357	9,514	6
84	9,514	9,677	9,845	10,02	10,20	10,39	10,58	10,78	10,99	11,20	11,43	5
85	11,43	11,66	11,91	12,16	12,43	12,71	13,00	13,30	13,62	13,95	14,30	4
86	14,30	14,67	15,06	15,46	15,89	16,35	16,83	17,34	17,89	18,46	19,08	3
87	19,08	19,74	20,45	21,20	22,02	22,90	23,86	24,90	26,03	27,27	28,64	2
88	28,64	30,14	31,82	33,69	35,80	38,19	40,92	44,07	47,74	52,08	57,29	1
89	57,29	63,66	71,62	81,85	95,49	114,6	143,2	191,0	286,5	573,0	—	0
	1,0	,9	,8	,7	,6	,5	,4	,3	,2	,1	,0	Stp.
	60	54	48	42	36	30	24	18	12	6	0	Min.

Cotangens 0° → 45°

10

Mantise dekadnih logaritama od 100 do 549

N	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	D
10	0000	0043	0086	0128	0170	0212	0253	0294	0334	0374	40
11	0414	0453	0492	0531	0569	0607	0645	0682	0719	0755	37
12	0792	0828	0864	0899	0934	0969	1004	1038	1072	1106	33
13	1139	1173	1206	1239	1271	1303	1335	1367	1399	1430	31
14	1461	1492	1523	1553	1584	1614	1644	1673	1703	1732	29
15	1761	1790	1818	1847	1875	1903	1931	1959	1987	2014	27
16	2041	2068	2095	2122	2148	2175	2201	2227	2253	2279	25
17	2304	2330	2355	2380	2405	2430	2455	2480	2504	2529	24
18	2553	2577	2601	2625	2648	2672	2695	2718	2742	2765	23
19	2788	2810	2833	2856	2878	2900	2923	2945	2967	2989	21
20	3010	3032	3054	3075	3096	3118	3139	3160	3181	3201	21
21	3222	3243	3263	3284	3304	3324	3345	3365	3385	3404	20
22	3424	3444	3464	3483	3502	3522	3541	3560	3579	3598	19
23	3617	3636	3655	3674	3692	3711	3729	3747	3766	3784	18
24	3802	3820	3838	3856	3874	3892	3909	3927	3945	3962	17
25	3979	3997	4014	4031	4048	4065	4082	4099	4116	4133	17
26	4150	4166	4183	4200	4216	4232	4249	4265	4281	4298	16
27	4314	4330	4346	4362	4378	4393	4409	4425	4440	4456	16
28	4472	4487	4502	4518	4533	4548	4564	4579	4594	4609	15
29	4624	4639	4654	4669	4683	4698	4713	4728	4742	4757	14
30	4771	4786	4800	4814	4829	4843	4857	4871	4886	4900	14
31	4914	4928	4942	4955	4969	4983	4997	5011	5024	5038	13
32	5051	5065	5079	5092	5105	5119	5132	5145	5159	5172	13
33	5185	5198	5211	5224	5237	5250	5263	5276	5289	5302	13
34	5315	5328	5340	5353	5366	5378	5391	5403	5416	5428	13
35	5441	5453	5465	5478	5490	5502	5514	5527	5539	5551	12
36	5563	5575	5587	5599	5611	5623	5635	5647	5658	5670	12
37	5682	5694	5705	5717	5729	5740	5752	5763	5775	5786	12
38	5798	5809	5821	5832	5843	5855	5866	5877	5888	5899	12
39	5911	5922	5933	5944	5955	5966	5977	5988	5999	6010	11
40	6021	6031	6042	6053	6064	6075	6085	6096	6107	6117	11
41	6128	6138	6149	6160	6170	6180	6191	6201	6212	6222	10
42	6232	6243	6253	6263	6274	6284	6294	6304	6314	6325	10
43	6335	6345	6355	6365	6375	6385	6395	6405	6415	6425	10
44	6435	6444	6454	6464	6474	6484	6493	6503	6513	6522	10
45	6532	6542	6551	6561	6571	6580	6590	6599	6609	6618	10
46	6628	6637	6646	6656	6665	6675	6684	6693	6702	6712	9
47	6721	6730	6739	6749	6758	6767	6776	6785	6794	6803	9
48	6812	6821	6830	6839	6848	6857	6866	6875	6884	6893	9
49	6902	6911	6920	6928	6937	6946	6955	6964	6972	6981	9
50	6990	6998	7007	7016	7024	7033	7042	7090	7059	7067	9
51	7076	7084	7093	7101	7110	7118	7126	7135	7143	7152	8
52	7160	7168	7177	7185	7193	7202	7210	7218	7226	7235	8
53	7243	7251	7259	7267	7275	7284	7292	7300	7308	7316	8
54	7324	7332	7340	7348	7356	7364	7372	7380	7388	7396	8

Stupac D sadrži razliku (diferenciju) između prvog lg u narednom retku i zadnjeg lg u tom retku.

Mantise dekadnih logaritama od 550 do 999

N	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	D
55	7404	7412	7419	7427	7435	7443	7451	7459	7466	7474	8
56	7482	7490	7497	7505	7513	7520	7528	7536	7543	7551	8
57	7559	7566	7574	7582	7589	7597	7604	7612	7619	7627	7
58	7634	7642	7649	7657	7664	7672	7679	7686	7694	7701	8
59	7709	7716	7723	7731	7738	7745	7752	7760	7767	7774	8
60	7782	7789	7796	7803	7810	7818	7825	7832	7839	7846	7
61	7853	7860	7868	7875	7882	7889	7896	7903	7910	7917	7
62	7924	7931	7938	7945	7952	7959	7966	7973	7980	7987	6
63	7993	8000	8007	8014	8021	8028	8035	8041	8048	8055	7
64	8062	8069	8075	8082	8089	8096	8102	8109	8116	8122	7
65	8129	8136	8142	8149	8156	8162	8169	8176	8182	8189	6
66	8195	8202	8209	8215	8222	8228	8235	8241	8248	8254	7
67	8261	8267	8274	8280	8287	8293	8299	8306	8312	8319	6
68	8325	8331	8338	8344	8351	8357	8363	8370	8376	8382	6
69	8388	8395	8401	8407	8414	8420	8426	8432	8439	8445	6
70	8451	8457	8463	8470	8476	8482	8488	8494	8500	8506	7
71	8513	8519	8525	8531	8537	8543	8549	8555	8561	8567	6
72	8573	8579	8585	8591	8597	8603	8609	8615	8621	8627	6
73	8633	8639	8645	8651	8657	8663	8669	8675	8681	8686	6
74	8692	8698	8704	8710	8716	8722	8727	8733	8739	8745	6
75	8751	8756	8762	8768	8774	8779	8785	8791	8797	8802	6
76	8808	8814	8820	8825	8831	8837	8842	8848	8854	8859	6
77	8865	8871	8876	8882	8887	8893	8899	8904	8910	8915	6
78	8921	8927	8932	8938	8943	8949	8954	8960	8965	8971	5
79	8976	8982	8987	8993	8998	9004	9009	9015	9020	9025	6
80	9031	9036	9042	9047	9053	9058	9063	9069	9074	9079	6
81	9085	9090	9096	9101	9106	9112	9117	9122	9128	9133	5
82	9138	9143	9149	9154	9159	9165	9170	9175	9180	9186	5
83	9191	9196	9201	9206	9212	9217	9222	9227	9232	9238	5
84	9243	9248	9253	9258	9263	9269	9274	9279	9284	9289	5
85	9294	9299	9304	9309	9315	9320	9325	9330	9335	9340	5
86	9345	9350	9355	9360	9365	9370	9375	9380	9385	9390	5
87	9395	9400	9405	9410	9415	9420	9425	9430	9435	9440	5
88	9445	9450	9455	9460	9465	9469	9474	9479	9484	9489	5
89	9494	9499	9504	9509	9513	9518	9523	9528	9533	9538	4
90	9542	9547	9552	9557	9562	9566	9571	9576	9581	9586	4
91	9590	9595	9600	9605	9609	9614	9619	9624	9628	9633	5
92	9638	9643	9647	9652	9657	9661	9666	9671	9675	9680	5
93	9685	9689	9694	9699	9703	9708	9713	9717	9722	9727	4
94	9731	9736	9741	9745	9750	9754	9759	9763	9768	9773	4
95	9777	9782	9786	9791	9795	9800	9805	9809	9814	9818	5
96	9823	9827	9832	9836	9841	9845	9850	9854	9859	9863	5
97	9868	9872	9877	9881	9886	9890	9894	9899	9903	9908	4
98	9912	9917	9921	9926	9930	9934	9939	9943	9948	9952	4
99	9956	9961	9965	9969	9974	9978	9983	9987	9991	9996	4

Stupac D sadrži razliku (diferenciju) između prvog lg u narednom retku i zadnjeg lg u tom retku.

II

Prirodni logaritmi od 0 do 499

N	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	−∞	0.0000	0.6931	1.0986	1.3863	1.6094	1.7918	1.9459	2.0794	2.1972
10	2.3026	2.3979	2.4849	2.5649	2.6391	2.7081	2.7726	2.8332	2.8904	2.9444
20	2.9957	3.0445	3.0910	3.1355	3.1781	3.2189	3.2581	3.2958	3.3322	3.3673
30	3.4012	3.4340	3.4657	3.4965	3.5264	3.5553	3.5835	3.6109	3.6376	3.6636
40	3.6889	3.7136	3.7377	3.7612	3.7842	3.8067	3.8286	3.8501	3.8712	3.8918
50	3.9120	3.9318	3.9512	3.9703	3.9890	4.0073	4.0254	4.0431	4.0604	4.0775
60	4.0943	4.1109	4.1271	4.1431	4.1589	4.1744	4.1897	4.2047	4.2195	4.2341
70	4.2485	4.2627	4.2767	4.2905	4.3041	4.3175	4.3307	4.3438	4.3567	4.3694
80	4.3820	4.3944	4.4067	4.4188	4.4308	4.4427	4.4543	4.4659	4.4773	4.4886
90	4.4998	4.5109	4.5218	4.5326	4.5433	4.5539	4.5643	4.5747	4.5850	4.5951
100	4.6052	4.6151	4.6250	4.6347	4.6444	4.6540	4.6634	4.6728	4.6821	4.6913
110	4.7005	4.7095	4.7185	4.7274	4.7362	4.7449	4.7536	4.7622	4.7707	4.7791
120	4.7875	4.7958	4.8040	4.8122	4.8203	4.8283	4.8363	4.8442	4.8520	4.8598
130	4.8675	4.8752	4.8828	4.8903	4.8978	4.9053	4.9127	4.9200	4.9273	4.9345
140	4.9416	4.9488	4.9558	4.9628	4.9698	4.9767	4.9836	4.9904	4.9972	5.0039
150	5.0106	5.0173	5.0239	5.0304	5.0370	5.0434	5.0499	5.0562	5.0626	5.0689
160	5.0752	5.0814	5.0876	5.0938	5.0999	5.1059	5.1120	5.1180	5.1240	5.1299
170	5.1358	5.1417	5.1475	5.1533	5.1591	5.1648	5.1705	5.1761	5.1818	5.1874
180	5.1930	5.1985	5.2040	5.2095	5.2149	5.2204	5.2257	5.2311	5.2364	5.2417
190	5.2470	5.2523	5.2575	5.2627	5.2679	5.2730	5.2781	5.2832	5.2883	5.2933
200	5.2983	5.3033	5.3083	5.3132	5.3181	5.3230	5.3279	5.3327	5.3375	5.3423
210	5.3471	5.3519	5.3566	5.3613	5.3660	5.3706	5.3753	5.3799	5.3845	5.3891
220	5.3936	5.3982	5.4027	5.4072	5.4116	5.4161	5.4205	5.4250	5.4293	5.4337
230	5.4381	5.4424	5.4467	5.4510	5.4553	5.4596	5.4638	5.4681	5.4723	5.4765
240	5.4806	5.4848	5.4889	5.4931	5.4972	5.5013	5.5053	5.5094	5.5134	5.5175
250	5.5215	5.5255	5.5294	5.5334	5.5373	5.5413	5.5452	5.5491	5.5530	5.5568
260	5.5607	5.5645	5.5683	5.5722	5.5760	5.5797	5.5835	5.5872	5.5910	5.5947
270	5.5984	5.6021	5.6058	5.6095	5.6131	5.6168	5.6204	5.6240	5.6276	5.6312
280	5.6348	5.6384	5.6419	5.6454	5.6490	5.6525	5.6560	5.6595	5.6630	5.6664
290	5.6699	5.6733	5.6768	5.6802	5.6836	5.6870	5.6904	5.6937	5.6971	5.7004
300	5.7038	5.7071	5.7104	5.7137	5.7170	5.7203	5.7236	5.7268	5.7301	5.7333
310	5.7366	5.7398	5.7430	5.7462	5.7494	5.7526	5.7557	5.7589	5.7621	5.7652
320	5.7683	5.7714	5.7746	5.7777	5.7807	5.7838	5.7869	5.7900	5.7930	5.7961
330	5.7991	5.8021	5.8051	5.8081	5.8111	5.8141	5.8171	5.8201	5.8230	5.8260
340	5.8289	5.8319	5.8348	5.8377	5.8406	5.8435	5.8464	5.8493	5.8522	5.8551
350	5.8579	5.8608	5.8636	5.8665	5.8693	5.8721	5.8749	5.8777	5.8805	5.8833
360	5.8861	5.8889	5.8916	5.8944	5.8972	5.8999	5.9026	5.9054	5.9081	5.9108
370	5.9135	5.9162	5.9189	5.9216	5.9243	5.9269	5.9296	5.9322	5.9349	5.9375
380	5.9402	5.9428	5.9454	5.9480	5.9506	5.9532	5.9558	5.9584	5.9610	5.9636
390	5.9661	5.9687	5.9713	5.9738	5.9764	5.9789	5.9814	5.9839	5.9865	5.9890
400	5.9915	5.9940	5.9965	5.9989	6.0014	6.0039	6.0064	6.0088	6.0113	6.0137
410	6.0162	6.0186	6.0210	6.0234	6.0259	6.0283	6.0307	6.0331	6.0355	6.0379
420	6.0403	6.0426	6.0450	6.0474	6.0497	6.0521	6.0544	6.0568	6.0591	6.0615
430	6.0638	6.0661	6.0684	6.0707	6.0730	6.0753	6.0776	6.0799	6.0822	6.0845
440	6.0868	6.0890	6.0913	6.0936	6.0958	6.0981	6.1003	6.1026	6.1048	6.1070
450	6.1092	6.1115	6.1137	6.1159	6.1181	6.1203	6.1225	6.1247	6.1269	6.1291
460	6.1312	6.1334	6.1356	6.1377	6.1399	6.1420	6.1442	6.1463	6.1485	6.1506
470	6.1527	6.1549	6.1570	6.1591	6.1612	6.1633	6.1654	6.1675	6.1696	6.1717
480	6.1738	6.1759	6.1779	6.1800	6.1821	6.1841	6.1862	6.1883	6.1903	6.1924
490	6.1944	6.1964	6.1985	6.2005	6.2025	6.2046	6.2066	6.2086	6.2106	6.2126

Vidi 4 tačku 18, zadnji pasus.

Prirodni logaritmi od 500 do 999

N	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
500	6.2146	6.2166	6.2186	6.2206	6.2226	6.2246	6.2265	6.2285	6.2305	6.2324
510	6.2344	6.2364	6.2383	6.2403	6.2422	6.2442	6.2461	6.2480	6.2500	6.2519
520	6.2538	6.2558	6.2577	6.2596	6.2615	6.2634	6.2653	6.2672	6.2691	6.2710
530	6.2729	6.2748	6.2766	6.2785	6.2804	6.2823	6.2841	6.2860	6.2879	6.2897
540	6.2916	6.2934	6.2953	6.2971	6.2989	6.3008	6.3026	6.3044	6.3063	6.3081
550	6.3099	6.3117	6.3135	6.3154	6.3172	6.3190	6.3208	6.3226	6.3244	6.3261
560	6.3279	6.3297	6.3315	6.3333	6.3351	6.3368	6.3386	6.3404	6.3421	6.3439
570	6.3456	6.3474	6.3491	6.3509	6.3526	6.3544	6.3561	6.3578	6.3596	6.3613
580	6.3630	6.3648	6.3665	6.3682	6.3699	6.3716	6.3733	6.3750	6.3767	6.3784
590	6.3801	6.3818	6.3835	6.3852	6.3869	6.3886	6.3902	6.3919	6.3936	6.3953
600	6.3969	6.3986	6.4003	6.4019	6.4036	6.4052	6.4069	6.4085	6.4102	6.4118
610	6.4135	6.4151	6.4167	6.4184	6.4200	6.4216	6.4232	6.4249	6.4265	6.4281
620	6.4297	6.4313	6.4329	6.4345	6.4362	6.4378	6.4394	6.4409	6.4425	6.4441
630	6.4457	6.4473	6.4489	6.4505	6.4520	6.4536	6.4552	6.4568	6.4583	6.4599
640	6.4615	6.4630	6.4646	6.4661	6.4677	6.4693	6.4708	6.4723	6.4739	6.4754
650	6.4770	6.4785	6.4800	6.4816	6.4831	6.4846	6.4862	6.4877	6.4892	6.4907
660	6.4922	6.4938	6.4953	6.4968	6.4983	6.4998	6.5013	6.5028	6.5043	6.5058
670	6.5073	6.5088	6.5103	6.5117	6.5132	6.5147	6.5162	6.5177	6.5191	6.5206
680	6.5221	6.5236	6.5250	6.5265	6.5280	6.5294	6.5309	6.5323	6.5338	6.5352
690	6.5367	6.5381	6.5396	6.5410	6.5425	6.5439	6.5453	6.5468	6.5482	6.5497
700	6.5511	6.5525	6.5539	6.5554	6.5568	6.5582	6.5596	6.5610	6.5624	6.5639
710	6.5653	6.5667	6.5681	6.5695	6.5709	6.5723	6.5737	6.5751	6.5765	6.5779
720	6.5793	6.5806	6.5820	6.5834	6.5848	6.5862	6.5876	6.5889	6.5903	6.5917
730	6.5930	6.5944	6.5958	6.5971	6.5985	6.5999	6.6012	6.6026	6.6039	6.6053
740	6.6067	6.6080	6.6093	6.6107	6.6120	6.6134	6.6147	6.6161	6.6174	6.6187
750	6.6201	6.6214	6.6227	6.6241	6.6254	6.6267	6.6280	6.6294	6.6307	6.6320
760	6.6333	6.6346	6.6359	6.6373	6.6386	6.6399	6.6412	6.6425	6.6438	6.6451
770	6.6464	6.6477	6.6490	6.6503	6.6516	6.6529	6.6542	6.6554	6.6567	6.6580
780	6.6593	6.6606	6.6619	6.6631	6.6644	6.6657	6.6670	6.6682	6.6695	6.6708
790	6.6720	6.6733	6.6746	6.6758	6.6771	6.6783	6.6796	6.6809	6.6821	6.6834
800	6.6846	6.6859	6.6871	6.6884	6.6896	6.6908	6.6921	6.6933	6.6946	6.6958
810	6.6970	6.6983	6.6995	6.7007	6.7020	6.7032	6.7044	6.7056	6.7069	6.7081
820	6.7093	6.7105	6.7117	6.7130	6.7142	6.7154	6.7166	6.7178	6.7190	6.7202
830	6.7214	6.7226	6.7238	6.7250	6.7262	6.7274	6.7286	6.7298	6.7310	6.7322
840	6.7334	6.7346	6.7358	6.7370	6.7382	6.7393	6.7405	6.7417	6.7429	6.7441
850	6.7452	6.7464	6.7476	6.7488	6.7499	6.7511	6.7523	6.7534	6.7546	6.7558
860	6.7569	6.7581	6.7593	6.7604	6.7616	6.7627	6.7639	6.7650	6.7662	6.7673
870	6.7685	6.7696	6.7708	6.7719	6.7731	6.7742	6.7754	6.7765	6.7776	6.7788
880	6.7799	6.7811	6.7822	6.7833	6.7845	6.7856	6.7867	6.7878	6.7890	6.7901
890	6.7912	6.7923	6.7935	6.7946	6.7957	6.7968	6.7979	6.7991	6.8002	6.8013
900	6.8024	6.8035	6.8046	6.8057	6.8068	6.8079	6.8090	6.8101	6.8112	6.8123
910	6.8134	6.8145	6.8156	6.8167	6.8178	6.8189	6.8200	6.8211	6.8222	6.8233
920	6.8244	6.8255	6.8265	6.8276	6.8287	6.8298	6.8309	6.8320	6.8330	6.8341
930	6.8352	6.8363	6.8373	6.8384	6.8395	6.8405	6.8416	6.8427	6.8437	6.8448
940	6.8459	6.8469	6.8480	6.8491	6.8501	6.8512	6.8522	6.8533	6.8544	6.8554
950	6.8565	6.8575	6.8586	6.8596	6.8607	6.8617	6.8628	6.8638	6.8648	6.8659
960	6.8669	6.8680	6.8690	6.8701	6.8711	6.8721	6.8732	6.8742	6.8752	6.8763
970	6.8773	6.8783	6.8794	6.8804	6.8814	6.8824	6.8835	6.8845	6.8855	6.8865
980	6.8876	6.8886	6.8896	6.8906	6.8916	6.8926	6.8937	6.8947	6.8957	6.8967
990	6.8977	6.8987	6.8997	6.9007	6.9017	6.9027	6.9037	6.9047	6.9057	6.9068

Vidi 4 tačku 10, zadnji pasus.

12

Standardni brojevi

Prema JUS A. A0.001. (Smjernice za primjenu vidi u JUS A. A0.002.)

Glavne vrijednosti (glavni slijed) R 5	R 10	R 20	R 40	Mantise	Tačne vrijednosti	Odstupanje od glavnih vrijednosti u %
1,00	1,00	1,00	1,00	000	1,0000	0
			1,06	025	1,0593	+ 0,07
		1,12	1,12	050	1,1220	—0,18
			1,18	075	1,1885	—0,71
	1,25	1,25	1,25	100	1,2589	—0,71
			1,32	125	1,3335	—1,10
		1,40	1,40	150	1,4125	—0,88
			1,50	175	1,4962	—0,25
1,60	1,60	1,60	1,60	200	1,5849	+ 0,95
			1,70	225	1,6788	+ 1,26
		1,80	1,80	250	1,7783	+ 1,22
			1,90	275	1,8836	+ 0,87
	2,00	2,00	2,00	300	1,9953	+ 0,24
			2,12	325	2,1135	+ 0,31
		2,24	2,24	350	2,2387	+ 0,06
			2,36	375	2,3714	—0,48
2,50	2,50	2,50	2,50	400	2,5119	—0,47
			2,65	425	2,6607	—0,40
		2,80	2,80	450	2,8184	—0,65
			3,00	475	2,9854	+ 0,49
	3,15	3,15	3,15	500	3,1623	—0,39
			3,35	525	3,3497	+ 0,01
		3,55	3,55	550	3,5481	+ 0,05
			3,75	575	3,7584	—0,22
4,00	4,00	4,00	4,00	600	3,9811	+ 0,47
			4,25	625	4,2170	+ 0,78
		4,50	4,50	650	4,4668	+ 0,74
			4,75	675	4,7315	+ 0,39
	5,00	5,00	5,00	700	5,0119	—0,24
			5,30	725	5,3088	—0,17
		5,60	5,60	750	5,6234	—0,42
			6,00	775	5,9566	+ 0,73
6,30	6,30	6,30	6,30	800	6,3096	—0,15
			6,70	825	6,6834	+ 0,25
		7,10	7,10	850	7,0795	+ 0,29
			7,50	875	7,4989	+ 0,01
	8,00	8,00	8,00	900	7,9433	+ 0,71
			8,50	925	8,4140	+ 1,02
		9,00	9,00	950	8,9125	+ 0,98
			9,50	975	9,4406	+ 0,63
10,00	10,00	10,00	10,00	000	10,0000	0

Standardni (normni) brojevi dobiveni su zaokruženjem geometrijskih slijedova sa stepenovanjem $\sqrt[5]{10}$ (slijed R 5), $\sqrt[10]{10}$ (slijed R 10), $\sqrt[20]{10}$ (slijed R 20), $\sqrt[40]{10}$ (slijed R 40). Eksponent korijena naznačuje ujedno broj članova odnosnog slijeda u jednoj dekadi. Daljnje dekade dobiju se množenjem brojeva u tablici s 10, 100 itd. odnosno s 0,1 0,01 itd. Pri stepenovanju tehničkih vrijednosti treba nastojati izaći sa što nižim slijedom (tj. npr. R 10 ima prednost pred R 20).

Osnovni slijedovi standardnih brojeva jesu R 5, R 10, R 20 i R 40.

Izuzetni slijed standardnih ***brojeva je R 80.***

Izvedeni slijedovi dobiju se tako da se iz osnovnog slijeda ispusti svaki drugi, treći ili *n*-ti član.

Podešeni brojevi. Ako se iz praktičnih razloga nikako ne može upotrijebiti slijed standardnih brojeva u cijelosti, mogu se pojedini članovi zamijeniti podešenim brojevima (PB) koji se dobiju jačim zaokruženjem standardnih brojeva (SB) prema ovoj tablici:

SB	1,06	1,12	1,18	1,25	1,32	1,6	2,12	2,24	2,36	2,65	3,15	3,35	3,55	3,75	4,25	4,75	5,6	6,3	6,7	7,1
PB	1,05	1,1	1,15 1,2	1,2	1,3	1,5	2,1	2,2 2,25	2,35 2,4	2,6	3,0 3,2	3,4	3,5 3,6	3,8	4,2	4,8	5,5	6,0	6,5	7,0

13 a

Važne brojčane vrijednosti

Veličina	n	lg n	Veličina	n	lg n	Veličina	n	lg n
π	3,141593	0,49715	$1/\pi$	0,318310	0,5029—1	$\sqrt[3]{e}$	1,3956	0,1448
$\pi/2$	1,570796	0,1961	$\sqrt{\pi}$	1,772454	0,2486	g	9,81	0,9917
$\pi/3$	1,047198	0,0200	$\sqrt[3]{\pi}$	1,464592	0,1657	g^2	96,2361	1,9833
$\pi/4$	0,785398	0,8951—1	e	2,718282	0,43429	$\sqrt{g}$	3,1321	0,4958
π^2	9,869604	0,99430	$1/e$	0,367879	0,5657—1	$1:2g$	0,0510	0,7083—2
π^3	31,006277	1,49145	$\sqrt{e}$	1,648721	0,2172	$\sqrt{2g}$	4,4294	0,6464

13 b

Grčki alfabet

Α α	a alfa	Ι ι	i jota	Ρ ρ	r ro
Β β	b beta	Κ κ	k kapa	Σ σ ς	s sigma
Γ γ	g gama	Λ λ	l lambda	Τ τ	t tau
Δ δ	d delta	Μ μ	m mi	Υ υ	y ipsilon
Ε ε (kratko)	e epsilon	Ν ν	n ni	Φ φ	f fi
Ζ ζ	dz dzeta	Ξ ξ	ks ksi	Χ χ	h hi
Η η	e eta	Ο ο (kratko)	o omikron	Ψ ψ	ps psi
Θ ϑ	th theta	Π π	p pi	Ω ω (dugo)	o omega

13 c

Rimski brojevi

I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	XX	XXX	XL
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	20	30	40

L	LX	LXX	LXXX	XC	C	CC	CCC	CD	D	DC	DCCC	M
50	60	70	80	90	100	200	300	400	500	600	800	1000

DCCXLI	IM = CMXCIX		MCMLXIII
741	999	999	1963

VELIČINE, JEDINICE, JEDNADŽBE

14

Veličine i jednadžbe*

Svako područje fizike ima izvjestan broj međusobno nezavisnih veličina iz kojih se sve ostale mogu izvesti. Na primjer, u mehanici ima 3 međusobno nezavisne veličine, a za opis električnih pojava potrebno je dodati još jednu, četvrtu. Četiri najprikladnije veličine odaberu se za osnovne, a sve ostale su izvedene veličine.

Svaka (fizikalna) veličina može se prikazati produktom

$$V = V_n [V] \tag{1}$$

to jest: fizikalna veličina jednaka je produktu iznosa (mjernog broja) i odabrane jedinice. Na primjer $l = 10$ m znači da je neka duljina 10 puta veća od odabrane jedinice metar.

Za osnovne veličine odabiru se jedinice po volji. Za izvedene veličine izračunaju se jedinice po pravilu skladnosti ili koherencije među jedinicama. Na primjer, skladna (koherentna) jedinica površine je m^2 jer je $1\,m^2 = 1\,m \times 1\,m$. Isto je tako skladna jedinica njuton jer je $1\,N = 1\,kg \times 1\,m/s^2$. U elektromagnetizmu skladna jedinica je npr. volt ($1\,V = 1\,\Omega \times 1\,A = 1\,m^2 kg\,s^{-3} A^{-1}$), a u energetici jedinica energije džul ($1\,J = 1\,V \times 1\,A = 1\,A^2 \times 1\,\Omega \times 1\,s = 1\,N \times 1\,m = 1\,kg \times 1\,m/s^2$). Kako se iz ovih primjera vidi, jedinice nekog sistema jedinica međusobno su koherentne samo ako ih možemo prikazati umnoškom ili omjerom $1 = 1 \times 1$ ili $1 = 1/1$.

Jedinica sile kilopod nije skladna jedinica u Giorgijevu sistemu jedinica jer je sa skladnom jedinicom sile povezana odnosom 1 kp = 9,81 N, dakle uz učešće faktora 9,81. Međutim u ranijem, sada napuštenom sistemu jedinica m-kp-s kilopond jest skladna jedinica. Napuštanjem ovog sistema jedinica treba postepeno napustiti i kilopod. Jedinica konjska snaga (KS) = 75 kpm/s nije skladna jedinica ni u jednom sistemu jedinica.

Veličinske jednadžbe su takve jednadžbe u kojima sve oznake predstavljaju veličine, a brojčani faktori u njima su fizikalni faktori. Veličinske jednadžbe vrijede sasvim općenito, bez obzira na izbor jedinica.

Na primjer, valnu duljinu λ hoćemo izračunati u centimetrima iz poznate frekvencije $f = 600$ MHz i brzine svjetlosti $c = 300\,000$ km/s:

$$\lambda = \frac{c}{f} = \frac{300\,000\ \mathrm{km\,s^{-1}}}{600\ \mathrm{MHz}} = \frac{300 \cdot 10^8\ \mathrm{cm\,s^{-1}}}{6 \cdot 10^8\ \mathrm{s^{-1}}} = 50\ \mathrm{cm} \tag{2}$$

Prilagođene veličinske jednadžbe su veličinske jednadžbe koje su prilagođene izvjesnim, tačno određenim jedinicama, a oznake u jednadžbi predstavljaju veličine, tj. umnožak iznosa (mjernog broja) i jedinice.

Na primjer, ako u (2) uvrstimo $c = 3 \cdot 10^8$ m/s, dobijemo

$$\lambda = \frac{c}{f} = \frac{3 \cdot 10^8\ \mathrm{m\,s^{-1}}}{(f/\mathrm{MHz}) \cdot 1\ \mathrm{MHz}} = \frac{300 \cdot 10^6\ \mathrm{m\,s^{-1}}}{(f/\mathrm{MHz}) \cdot 10^6\ \mathrm{s^{-1}}} \qquad \lambda = \frac{300}{f/\mathrm{MHz}} \tag{3}$$

---

* Vidi npr.: M. Brezinšćak, Mjere i sistemi jedinica, Tehnička knjiga, Zagreb 1961., i tamo naveden popis literature. — DIN 1313. — F. Avčin, Osnove metrologije, Državna založba Slovenije, Ljubljana 1962. — M. Brezinšćak, Mjerni sistemi elektrotehnike, Tehnička knjiga, Beograd 1961. — M. Brezinšćak, Veličinske i količinske jednadžbe, Elektrotehničar 1962, str. 7. — J. Wallot, Grössengleichungen und Zahlenwertgleichungen, ETZ 1942., str. 13.

Jednadžba (3) je prilagođena veličinska jednadžba. Jedinica m nije pripisana jedinica već pravi faktor, a izraz f/MHz nije obični razlomak već iznos (tj. brojčana vrijednost, mjerni broj) frekvencije mjerene u megahercima.

Brojčane (ili količinske) **jednadžbe** nastaju iz prilagođenih veličinskih jednadžbi ako se umjesto omjera veličine i jedinice $V/[V]$ piše oznaka iznosa (mjernog broja) V_n, jer je prema izrazu (1) $V_n = V/[V]$. Tako umjesto omjera f/MHz pišemo u brojčanoj jednadžbi f_n, a jedinice na koje se taj (brojčani) iznos odnosi posebno se pripišu:

$$\lambda_n = \frac{300}{f_n} \quad \text{(m, MHz)} \tag{4a}$$

Uobičajeno je, premda je principijelno pogrešno, da se iznosi u brojčanim jednadžbama pišu jednako kao veličine (kurzivno, bez indeksa):

$$\lambda = \frac{300}{f} \quad \text{(m, Hz)} \tag{4b}$$

Mjerni sistemi*

15

Međunarodni sistem jedinica je sistem jedinica koji se bazira na jedinicama metar, kilogram, sekunda, amper, kandela i stupanj Kelvina. Giorgijev (Đorđi) sistem jedinica je sistem jedinica koji bazira na jedinicama m, kg, s, A; dopuštena je i kraća oznaka MKSA**.

Za Giorgijev ili MKSA-sistem bitno je da ima 4 jedinice i da je osnovna i jedinica mase, a ne sile. Stoga je on »apsolutni« sistem, jer jedinica mase određena pramjerilom (etalonom) 1 kg od platin-iridija (koji se čuva u Francuskoj) vrijedi apsolutno, tj. masa etalona se ne mijenja bez obzira na mjesto na kojem se čuva. Težina etalona nije apsolutna, već ovisi o mjestu gdje se on nalazi. Deseta generalna konferencija za utege i mjere usvojila je 1954. godine amper kao četvrtu jedinicu (uz metar, kilogram i sekundu), a još prije su to učinile Međunarodna elektrotehnička komisija (IEC) 1950. godine. Međunarodna zajednica za čistu i primijenjenu fiziku i Međunarodna organizacija za standardizaciju (ISO).

* Vidi npr.: F. Avčin, Prilikom uvođenja novih jedinica u elektrotehnici, EV 1948, str. 1, 73 i 170. — F. Avčin, Važni zaključci na zasjedanju Međunarodne elektrotehničke komisije u mjesecu srpnju 1950. u Parizu, EV 1951, str. 191 i 257. — F. Avčin, Osnove metrologije, Državna založba Slovenije, Ljubljana 1952. — M. Brezinšćak, Mjerni sistemi elektrotehnike, Tehn. knjiga, Beograd 1951. — M. Brezinšćak, Nekoliko riječi u vezi s mehaničkim dijelom Giorgijeva sistema jedinica, EV 1951, str. 138. — V. Polhovski, Četvrta osnovna jedinica u apsolutnom sistemu MKS, EP 1949., br. 4. — V. Polhovski, Nove električne i magnetske jedinice, EP 1949, br. 5. — M. Brezinšćak, Diskusija u vezi članaka V. Polhovskog, EP 1949., br. 11. — F. Avčin, Deveta generalna konferencija za mere i utege, EV 1948., str. 243. — F. Avčin, Da li je Giorgijev sustav jedinica tro- ili četiridimenzionalan, EV 1954., str. 209. — F. Avčin, Deseta generalna konferencija za težine i mere, EV 1955., str. 65. — M. Brezinšćak, Mjere i sistemi jedinica, Tehnička knjiga, Zagreb 1961.

** Ove su definicije usvojene na zasjedanju IEC-a u Stockholmu 1958.

Mjerni sistemi (nastavak)

Mjerni sistemi mehanike

Naziv	Osnovne jedinice
1. Apsolutni praktički mjerni sistem ili MKS-sistem . .	m — kg — s
2. Apsolutni fizikalni mjerni sistem ili CGS-sistem . .	cm — g — s
3. Tehnički mjerni sistem	m — kp — s*

Komentar:

Ad 1: Ovaj je sistem po odluci Međunarodnog komiteta za utege i mjere koju je potvrdila i Deveta generalna konferencija za utege i mjere) internacionalno stupio na snagu 1. I 1948.

Ad 2: Taj se sistem do sada najviše upotrebljavao u fizikalnoj mehanici.

Ad 3: Sve do prihvaćanja i utvrđenja sistema MKS taj se sistem u Evropi skoro isključivo upotrebljavao u tehnici, a i danas se još mnogo upotrebljava, dok ga MKS sistem konačno ne istisne. U SAD i Velikoj Britaniji upotrebljavali su se, i još se upotrebljavaju, slični sistemi s angloameričkim jedinicama za duljinu i težinu.

Mjerni sistemi elektrotehnike

Naziv	Osnovne jedinice
1. Giorgijev apsolutni mjerni sistem ili MKSA sistem . .	m — kg — s — A
2. Apsolutni elektrotehnički mjerni sistem (Mie-Oberdorfer)	V — A — m — s
3. Raniji međunarodni elektrotehnički mjerni sistem . .	Ω_m — A_m — cm — s
4. Elektromagnetski CGS-sistem (CGSM) ($\mu_o = 1$, $\varepsilon_o = 1/c^2$)	cm — g — s
5. Elektrostatski CGS-sistem (CGSE) ($\mu_o = 1/c^2$, $\varepsilon_o = 1$)	cm — g — s
6. Simetrični (Gaussov) CGS sistem ($\mu_o = 1$, $\varepsilon_o = 1$) . .	cm — g — s
7. Sistem CGSμ_o	cm — g — s — (μ_o)

Komentar:

Ad 1: Vidi ono što je rečeno u uvodu pod 15. Za osnovne jedinice ovog sistema odabrane su za duljinu metar, za masu kilogram, za vrijeme sekunda i za struju amper.

Ad 2: Ovaj se sistem najviše upotrebljava u elektrotehnici. Lako ga je povezati sa Giorgijevim sistemom MKSA ako se volt shvati kao jedinica izvedena iz 4 osnovne Giorgijeve jedinice (m — kg — s — A) preko džula, odnosno vata, odakle proizlazi odnos: $1\,V = 1\,m^2\,kg\,s^{-3}\,A^{-1}$. U ovom sistemu jedinica je mase: $1\,kg = 1\,VA\,m^{-2}\,s^{-3}$.

Ad 3: Ovaj se sistem upotrebljavao do 1. I 1948. godine, a osnivao se na ranijim tzv. »međunarodnim« definicijama oma i ampera. Etaloni oma i ampera bili su realizirani živinim stupcem i srebrovim voltametrom.

---

* Umjesto kg-sile uzet je noviji naziv kilopond, oznaka kp, koji je usvojen i u jugoslavenskom standardu za jedinice JUS A.A1.040/1957 kao i u Zakonu o mjernim jedinicama i mjerilima (Službeni list FNRJ broj 45/1961).

Ad 4 do 6: Sistemi CGS su za elektrotehniku principijelno neprihvatljivi jer su u elektromagnetizmu potrebne četiri osnovne jedinice. Sistem CGSM ispomaže se tako da uzima da je μ čist broj, a sistem CGSE uzima ε kao čist broj. Gaussov sistem uzima $\mu_0 = 1$ i $\varepsilon_0 = 1$ (u neracionalnom obliku jednadžbi, odnosno $\mu_0 = 4\pi$ i $\varepsilon_0 = 1/4\pi$ u racionalnom obliku jednadnadžbi), ali zato osnovne Maxwellove jednadžbe dobivaju neprirodan oblik, jer u njih ulazi brzina svjetlosti.

Ad 7: To je sistem CGS nadopunjen jedinicom za magnetsku konstantu kao četvrtom osnovnom jedinicom. Iz ovog sistema potječu jedinice: maksvel (Mx) za magn. tok, gaus (Gs) za magn. indukciju, ersted (Oe) za magn. polje i gilbert (Gb) za magnetomotornu silu.

Racionalizacija elektromagnetskih jednadžbi **16**

Elektromagnetske jednadžbe mogu se pisati u racionalnom i klasičnom (neracionalnom) obliku. Kod racionalnog pisanja jednadžbi pojavljuje se faktor 4π samo u onim jednadžbama koje prikazuju neki odnos u vezi sa predodžbom kugle, odnosno 2π u vezi sa predodžbom valjka. Kod klasičnog pisanja jednadžbi taj se faktor često pojavljuje i tamo gdje nema površine kugle, odnosno opsega valjka, a ne pojavljuje se tamo gdje bi to predodžba kugle, odnosno valjka, tražila. Na primjer, neka se u središtu kugle polumjera r nalazi naboj Q. Tada je gustoća električnog toka (električni pomak) u racionalnom obliku $D = Q/S = Q/4\pi r^2$, a u klasičnom obliku $D = Q/r^2$.

Do racionalnog pisanja elektromagnetskih jednadžbi dolazi se ako se u teoriju uđe preko jednadžbi elektromagnetskog polja, što odgovara modernom shvaćanju lokalnog djelovanja (»djelovanja iz blizine«), a do klasičnog, neracionalnog načina pisanja ako se polazi od Coulombova i Biot-Savartova zakona; takav uvod u teoriju odgovara, međutim, zastarjelom shvaćanju »djelovanja na daljinu«.

Na zasjedanju IEC-a (Internacionalne elektrotehničke komisije) u Parizu god. 1950. prihvaćena je racionalizacija.

Budući da se klasične jednadžbe elektromagnetskog polja pišu redovno u neracionalnom obliku, pojavljuje se faktor 4π u faktorima preračunavanja (konverzije) jedinica CGS u jedinice MKSA, odnosno iznosa (brojčanih vrijednosti, mjernih brojeva) izraženih u CGS jedinicama u iznose izražene u MKSA jedinicama (vidi 20, strana 61).

Neke važne fizikalne konstante **17**

Naboj elektrona: $e_0 = (1{,}601\,99 \pm 0{,}000\,60) \cdot 10^{-19}$ C
Masa mirnog elektrona $m_0 = (9{,}1055 \pm 0{,}0012) \cdot 10^{-31}$ kg
Jedinica atomne mase u fizikalnoj skali: $O^{16}/16 = (1{,}6597 \pm 0{,}0001) \cdot 10^{-27}$ kg
Jedinica atomne mase u kemijskoj skali: $O_2/32 = (1{,}6602 \pm 0{,}0001) \cdot 10^{-27}$ kg
Loschmidtov broj (u SAD Avogadrov broj): $N = 6{,}0235 \pm 0{,}0004) \cdot 10^{26}$ 1/kg-mol*
Avogadrov broj (u SAD Loschmidtov broj): $n = (2{,}687\,31 \pm 0{,}00019) \cdot 10^{25}\ m^{-3}$
Plinska konstanta: $R_0 = (8{,}314\,39 \pm 0{,}000\,34) \cdot 10^{-3}$ J/(kg-mol · step.)
Boltzmanova konstanta: $k = R_0/N = (1{,}380\,32 \pm 0{,}000\,11) \cdot 10^{-23}$ J/step.**
Faradayeva konstanta (elektrokemijski ekvivalent): $F = Ne_0 =$
$= (9{,}6496 \pm 0{,}0007) \cdot 10^{7}$ J/kg-mol*
Planckova konstanta: $h = (6{,}6242 \pm 0{,}0044) \cdot 10^{-34}$ Js (džul-sekunda)

Iscrpan prikaz iznosa konstanata u MKSA i CGS sistemu vidi u knjizi F. Avčin, Osnove metrologije, Ljubljana 1952 (tablica VIII u prilogu) i u knjizi M. Brezinšćak, Mjere i sistemi jedinica, Tehn. knjiga, Zagreb 1961.

* Kemijska skala. — ** Fizikalna skala.

Pregled najvažnijih jednadžbi elektromagnetskog polja u racionalnom i u klasičnom obliku

Racionalni oblik, sistem MKSA	Klasičan oblik — sistem CGS	sistem*	Primjedba
$\operatorname{rot} H = J + \frac{\partial D}{\partial t}$	$\operatorname{rot} H = 4\pi J + \frac{\partial D}{\partial t}$	E, M	Maxwellove jednadžbe
$\operatorname{rot} E = -\frac{\partial B}{\partial t}$	$\operatorname{rot} E = -\frac{\partial B}{\partial t}$	E, M	
$\operatorname{div} D = \rho$	$\operatorname{div} D = 4\pi\rho$	E,M,S	
$\operatorname{div} B = 0$	$\operatorname{div} B = 0$	E,M,S	
$D = \varepsilon_0\varepsilon_r E = \varepsilon_0 E + P$	$D = \varepsilon_r E = E + 4\pi P$	E, S	Električni pomak u polariziranom dielektriku
$D = \frac{\pi}{4\pi r^2} = \frac{Q}{S}$	$D = \frac{Q}{r^2} = \frac{4\pi Q}{S}$	E, S	
$B = \mu_0\mu_r H = \mu_0 H + B_i$	$B = \mu_r H = H + 4\pi B_i$	M, S	Magnetska indukcija u magnetiziranoj sredini
$B = \frac{\Phi}{S}$	$B = \frac{\Phi}{S}$	M, S	
$w_e = \frac{ED}{2} = \varepsilon_0 \frac{\varepsilon_r E^2}{2}$	$w_e = \frac{ED}{8\pi} = \frac{\varepsilon_r E^2}{8\pi}$	E, S	Gustoća električne energije u električnom polju
$w_m = \frac{HB}{2} = \mu_0 \frac{\mu_r H^2}{2}$	$w_m = \frac{HB}{8\pi} = \frac{\mu_r H^2}{8\pi}$	M, S	Gustoća elektromagnetske energije u magnetskom polju
$\frac{F}{l} = \mu_0 \frac{I_1 I_2}{2\pi d}$	$\frac{F}{l} = \frac{2 I_1 I_2}{d}$	M, S	Sila po jedinici duljine između 2 paralelna vodiča sa razmakom *d*
$F = \frac{1}{\varepsilon_0} \frac{Q}{4\pi\varepsilon_r r^2}$	$F = \frac{Q_1 Q_2}{\varepsilon_r r^2}$	E, S	Sila između 2 elementarna (tačkasta) naboja (Coulombov zakon)
$V = \frac{1}{\varepsilon_0} \frac{Q}{4\pi\varepsilon_r r^2}$	$V = \frac{Q}{\varepsilon_r r}$	E, S	Elektrostatski potencijal tačkastog električnog naboja
$E = \frac{1}{\varepsilon_0} \frac{Q}{4\pi\varepsilon_r r^2}$	$E = \frac{Q}{\varepsilon_r r^2}$	E, S	Električno polje proizvedeno od tačkastog električnog naboja
$\Psi = Q$	$\Psi = 4\pi Q$	E,M,S	Električni tok od električnog naboja
$C = \varepsilon_0 \cdot 4\pi\varepsilon_r r$	$C = \varepsilon_r r$	E, S	Kapacitet izolirane kugle
$dH = \frac{I ds \sin\alpha}{4\pi r^2}$	$dH = \frac{I ds \sin\alpha}{r^2}$	E,M,S	Biot-Savartov zakon
$L = \mu_0 \frac{\mu_r N^2 S}{s}$	$L = \frac{4\pi\mu_r N^2 S}{s}$	M	Samoindukcija svitka (*s* – srednji opseg)

Oznake veličina vidi u 19.

* E — elektrostatski, M — elektromagnetski, S — simetrični (Gaussov).

Osnovne jedinice međunarodnog sistema jedinica

Veličina	Jedinica		Definicija jedinice (prema Zakonu o mjernim jedinicama i mjerilima
	naziv	oznaka	
Duljina	metar	m	Metar je dužina jednaka 1 650 763,73 valnih dužina radijacije u vakuumu koja odgovara prijelazu između nivoa $2p_{10}$ i $5d_5$ atoma kriptona 86.[1])
Masa	kilogram	kg	Kilogram je masa međunarodnog pramjerila kilograma koju je sankcionirala generalna konferencija za utege i mjere održana u Parizu 1889. godine.[2])
Vrijeme	sekunda	s	Sekunda je 1/31 556 925,974 7 tropske godine u 12 sati efemeridnog vremena 0. siječnja 1900.[3])
Električna struja	amper	A	Amper je nepromjenljiva električna struja koja prolazeći kroz dva pravocrtna, paralelna presjeka neograničeno dugačka vodiča zanemarljivog presjeka, postavljena u vakuumu u međusobnoj udaljenosti od 1 metra, uzrokuje između njih silu od $2 \cdot 10^{-7}$ njutna po metru dužine.[4])
Temperatura	stupanj (stepen) Kelvina	°K	Stupanj Kelvina je 273,16-ti dio termodinamičke temperature trojne tačke čiste vode.[5])
Svetlosna jakost	kandela	cd	Kandela je šezdeseti dio svjetlosne jakosti koju odašilje u okomitom smjeru integralni radijator (crno tijelo) na temperaturi skrućivanja platine.[6])

Primjedbe:

1. Metar: Ova definicija odgovara nedavnom zaključku Generalne konferencije za utege i mjere. Ranija, mnogo poznatija, definicija bila je (vidi JUS A.A1.040/1957): »Metar je razmak pri 0° C između osi dviju crta povučenih na šipki od platin-iridija, koja se čuva u Međunarodnom birou za utege i mjere u Sèvresu (Francuska) i smatra međunarodnim pramjerilom (prototipom) metra«. Metar prema ovim definicijama praktički je jednak.

2. Kilogram: Međunarodno pramjerilo od platin-iridija čuva se u u Sèvresu u Francuskoj.

3. Sekunda: Ranije je sekunda bila definirana kao 1/86 400-ti dio srednjeg sunčanog dana. O novoj definiciji vremena vidi npr. referat F. Avčina u EV 1955., str. 115.

4. Amper: Ovo je definicija tzv. »apsolutnog ampera u Giorgijevu sistemu. Ranije (do 1948.) amper je bio definiran kao »međunarodni amper« (vidi niže).

5. Stupanj Kelvina: Temperatura trojne tačke vode utvrđena je time sa 273,16° K. Ranije je osnovna jedinica temperature bila stupanj Celsiusa. Celsiusova skala bila je određena temperaturom leda koji se tali

Osnovne jedinice (nastavak)

uz tlak od 1 atm (760 mm Hg) i vrelišta kemijski čiste vode pri 1 atm. Danas je Celsiusova skala određena ovako: 0^0 C — temperatura koja je za $0{,}0100^0$ C niža od temperature trojne tačke vode (tj. zbirne tačke plinovite, tekuće i krute faze) (0^0 C = $273{,}15^0$ C); 100^0 C — vrelište kemijski čiste vode pri 1 atm. Za razlike temperature vrijedi: 1^0 K = 1^0 C.

6. Kandela: Ranije su se u nas upotrebljavale jedinice Hefnerova svijeća (oznaka HS) i internacionalna svijeća (oznaka IS). Približno vrijedi: 1 cd = 0,98 IS = 1,09 HS.

Prijašnje osnovne električke jedinice (na snazi do kraja 1947. godine) bile su definirane kao međunarodne jedinice nezavisno od mjernog sistema mehanike ovim definicijama:

(Prijašnji) međunarodni amper: Nepromjenljiva električna struja koja protječući kroz vodenu otopinu srebrnog nitrata izluči iz njega svake sekunde 1,118 miligrama srebra.

(Prijašnji) međunarodni om: Otpor za konstantnu električnu struju, temperature leda koji se tali, živinog stupca dugačkog 106,3 cm koji ima po cijeloj duljini jednaki presjek, a masa mu iznosi 14,4521 grama (Tada taj stupac ima presjek 1 mm^2.)

19 Oznake i jedinice fizikalnih veličina

Vidi Zakon o mjernim jedinicama i mjerilima (objavljen u Službenom listu FNRJ broj 45/1961) te jugoslavenske standarde JUS A.A1.040/1957 (mjerne jedinice) i JUS A.A1.020/1957 (oznake u formulama)

Veličina naziv	Veličina oznaka	Giorgijeva jedinica naziv**	Giorgijeva jedinica oznaka	Definicija odn. primjedba
Geometrijske veličine				
Kut, ugao	α, β, γ ϑ, Θ, φ itd.	a) radijan	rad	Radijan je jedinica geometrijskog kuta[1])
		b) gradus	g	1^g — stoti dio pravog kuta
		c) stupanj stepen	0	1^0 — 90-ti dio pravog kuta
		d) minuta	′	1′ — 60-ti dio stupnja
		e) sekunda	″	1″ — 60-ti dio minute
prostorni kut (ugao)	Ω, ω	steradijan	sr	Steradijan je jedinica geometrijskog prostornog kuta[1])
duljina	*l*	metar	m	Definiciju metra vidi u 18
put (duljina puta)	*s*	metar	m	
širina	*b*	metar	m	
visina	*h*	metar	m	
debljina	*d*, δ	metar	m	
polumjer, radius	*r*	metar	m	
promjer, dijametar	*d*	metar	m	
površina	*A*		m^2	
presjek	*S*		m^2	
obujam, volumen, zapremina	*V*, (*v*)		m^3	Definiciju litre vidi u fusnoti na strani 64

Primjedbe vidi na strani 59.

Oznake i jedinice fizikalnih veličina (nastavak)

Veličina naziv	Veličina oznaka	Giorgijeva jedinica naziv**	Giorgijeva jedinica oznaka	Definicija odn. primjedba
		Vremenske veličine		
Vrijeme	t	sekunda	s	Definiciju sekunde vidi u 18.
brzina	v, u, w		m/s	$v = ds/dt$
brzina svjetlosti	c		m/s	U vakuumu $c_0 = 2{,}997\,93 \cdot 10^8$ m/s [2])
ubrzanje, akceleracija	a		m/s²	$a = dv/dt$
ubrzanje teže, gravitacija	g		m/s²	$g = 9{,}806\,65$ m/s²
kutna brzina	ω		1/s	
kutna akceleracija	α		1/s²	
trajanje periode	T	sekunda	s	
vremenska konstanta	$\tau, (T)$	sekunda	s	
frekvencija	$f, (\nu)$		1/s	$f = 1/T$
brzina vrtnje	n		1/s	$n = 1/T_0$ (T_0 — trajanje jednog okretaja)
kružna frekvencija, pulzacija	ω		1/s	$\omega = 2\pi f$
duljina vala	λ	metar	m	
[3])	$\ln(A_1/A_2)$	neper	Np	Neper je naziv za čist broj 1 [4])
[5])	$10 \lg (P_1/P_2)$	decibel	dB	Decibel je naziv za čist broj 1 [6])
koeficijent prigušenja	δ	[7])	1/s	
logaritamski dekrement	Λ	[8])	1	
konstanta slabljenja	α	[9])	1/m	
fazna konstanta	β			
konstanta prostiranja	γ			
		Veličine mase		
Masa	m	kilogram	kg	Definiciju kilograma vidi u 18.
gustoća, specif. masa	ρ		kg/m³	
relativna gustoća	d		1	Relativna gustoća neke tvari je omjer gustoće te tvari i gustoće neke tvari za uspoređivanje
atomna masa	A^*		1	
molekularna masa	M^*		1	
dinamički moment tromosti	I, J		m²kg	

Primjedbe vidi na strani 59. i 60.

Oznake i jedinice fizikalnih veličina (nastavak)

Veličina naziv	Veličina oznaka	Giorgijeva jedinica naziv**	Giorgijeva jedinica oznaka	Definicija odn. primjedba
Mehaničke veličine				
količina gibanja	p		kgm/s	$p = mv$
sila	F	njutn[10])	N	1 N je sila koja tijelu mase 1 kg daje ubrzanje 1 m/s^2
težina	G	njutn	N	Težina tijela je sila pod čijim bi djelovanjem tijelo dobilo ubrzanje jednako ubrzanju slobodnog pada na tom mjestu
specifična težina	γ			
moment sile	M		Nm	M je produkt sile i kraka na kojem sila djeluje.
zakretni moment, moment vrtnje,	T		Nm	1kpm (kilopondmetar) = 9,806 65 Nm
tlak (pritisak)	p		N/m^2	$p = \mathrm{d}F/\mathrm{d}A$
normalno naprezanje	σ		N/m^2	$\sigma = \mathrm{d}F/\mathrm{d}S$
tangencijalno naprezanje	τ		N/m^2	$\tau = \mathrm{d}F/\mathrm{d}S$
jedinično izduženje	ε, e		1	$\varepsilon = \Delta l/l$
modul elastičnosti	E		N/m^2	$\sigma = \varepsilon E = \frac{\Delta l}{l} E$
modul torzije	G		N/m^2	$\tau = \frac{\lambda}{l} G$
modul savijanja	K		N/m^2	$K = - V \frac{\mathrm{d}p}{\mathrm{d}V}$
površinski moment tromosti	I		m^4	$I_y = \int_A x^2 \mathrm{d}A$
moment otpora	Z, W		m^3	$W = I_y/e$ (e - razmak neutralne osi od ruba profila
koeficijent trenja	μ, (f)		1	
viskoznost (dinamička)	η		Ns/m^2	
kinematička viskoznost	ν		m^2/s	
rad	A	džul[11])	J	1 J je rad koji obavi sila 1 N kad se njeno hvatište pomakne 1 m u smjeru sile: 1 J = 1 Nm.
energija	W	džul	J	
potencijalna energija	V, Φ, (U)	džul	J	
kinetička energija	T, (K)	džul	J	
snaga	P	vat[12])	J	$P = \mathrm{d}A/\mathrm{d}t = \mathrm{d}W/\mathrm{d}t$
korisnost	η		1	$\eta = P_2/P_1$ (P_2 — predana, P_1 — primljena snaga)

Primjedbe vidi na strani 59. i 60.

Oznake i jedinice fizikalnih veličina (nastavak)

Veličina naziv	oznaka	Jedinica stara	Jedinica nova	Definicija odn. primjedba
Toplinske veličine				
Apsolutna temperatura[13])	T, Θ	°K	°K	
temperatura	t, ϑ	°C	°C	$t_C = T_K - 273{,}15$ [14])
koeficijent linearnog rastezanja	α	1/step.	1/step.	
količina topline	Q	kcal[15])	J	1 cal = 4,1855 J (džula)
toplinski tok	$\Phi, (q)$	kcal/s	W	$\Phi = \mathrm{d}Q/\mathrm{d}t$. (W = vat)
gustoća toplinskog toka	$q, (\varphi)$	$\mathrm{kcal/s \cdot m^2}$	$\mathrm{W/m^2}$	$q = \mathrm{d}\Phi/\mathrm{d}S$
toplinska vodljivost	$\lambda, (k)$	$\frac{\mathrm{kcal}}{\mathrm{s \cdot m \cdot step.}}$	$\frac{\mathrm{W}}{\mathrm{m \cdot step.}}$	$Q = \lambda \frac{S}{l} (\vartheta_2 - \vartheta_1) t$ [16])
koeficijent prolaženja topline	$\alpha, (h, K, U)$	$\frac{\mathrm{kcal}}{\mathrm{s \cdot m^2 \cdot step.}}$	$\frac{\mathrm{W}}{\mathrm{m^2 \cdot step.}}$	$Q = \alpha S (\vartheta_2 - \vartheta_1) t$
toplinska difuznost[17])	$a, (\alpha)$	$\mathrm{m^2/s}$	$\mathrm{m^2/s}$	$a = \frac{\lambda}{\rho c_p}$ (ρ — gustoća)
toplinski kapacitet	C	kcal/step.	J/step	$C = \mathrm{d}Q/\mathrm{d}T$
specifična toplina općenito	c	$\frac{\mathrm{kcal}}{\mathrm{kg \cdot step.}}$	$\frac{\mathrm{J}}{\mathrm{kg \cdot step.}}$	$\mathrm{d}Q = mc\mathrm{d}\vartheta$
pri konst. tlaku	c_p	„	„	$\mathrm{d}Q = mc_p\mathrm{d}\vartheta$
pri konst. volumenu	c_v	„	„	$\mathrm{d}Q = mc_v\mathrm{d}\vartheta$
molna toplina*	C	$\frac{\mathrm{kcal}}{\mathrm{kmol \cdot step}}$	$\frac{\mathrm{J}}{\mathrm{kmol \cdot st.}}$	$C = Mc$ (M — molekularna masa)
omjer spec. toplina	$\gamma, \varkappa, k$	1	1	$\gamma = c_p/c_v$
entropija	S	kcal/step.	J/step.	$S = \int_0^T \frac{\mathrm{d}Q}{T}$
specifična entropija	s	$\frac{\mathrm{kcal}}{\mathrm{kg \cdot step.}}$	$\frac{\mathrm{J}}{\mathrm{kg \cdot step.}}$	$s = S/m$ (m — masa)
unutarnja energija	$U, (E)$	kcal	J	
slobodna energija	F	kcal	J	$F = U - TS$
slobodna entalpija	G	kcal	J	$G = U + pV - TS$
entalpija	$H, (I)$	kcal	J	$H = U + pV$
specifična entalpija	$h, (i)$	kcal/kg	J/kg	
Električke veličine				
količina elektrike	Q	kulon[18])	C	1 C = 1 As
gustoća elektrike prostorna	ρ		$\mathrm{C/m^3}$	$\rho = \mathrm{d}Q/\mathrm{d}V$
površinska	σ		$\mathrm{C/m^2}$	$\sigma = \mathrm{d}Q/\mathrm{d}A$
električni tok	Ψ	kulon	C	$\Psi = \Sigma Q$
gustoća el. toka (el. pomak)	D		$\mathrm{C/m^2}$	$D = \mathrm{d}\Psi/\mathrm{d}A$

Primjedbe vidi na strani 59. i 60.

Oznake i jedinice fizikalnih veličina (nastavak)

Veličina naziv	Veličina oznaka	Jedinica naziv**	Jedinica oznaka	Definicija odn. primjedba
napon, potencijalna razlika	$U, (V)$[19]	volt[20])	V	$U = P/I$
električni potencijal	V	volt	V	$V_A - V_B = U_{AB}$
elektromotorna sila	E	volt	V	$E = W/Q$
električno polje	E, K		V/m	$E = U/l$
kapacitet	C	farad[21])	F	$C = Q/U$; 1 F = 1 As/V
permitivnost[22])	ε		F/m	$\varepsilon = D/E = \varepsilon_0 \varepsilon_r$
električna konstanta[23])	ε_0		F/m	$\varepsilon_0 = 8{,}855\,16 \cdot 10^{-12}$ F/m
relativna permitivnost	ε_r		1	$\varepsilon_r = \varepsilon/\varepsilon_0$
struja	I[19])	amper[24])	A	Definiciju ampera vidi u 18.
gustoća struje	J		A/m²	$J = I/S$
linearna gustoća struje	A, α		A/m	
otpor	R	om[25])	Ω	
jalovi otpor, reaktancija	X	om	Ω	
prividni otpor, impedancija	Z	om	Ω	$Z = R + jX$
provod	G	simens	S	$G = I/U$
jalovi provod, susceptancija	B	simens	S	
prividni provod, admitancija	Y	simens	S	$Y = G + jB = 1/Z$
specifični otpor, otpornost	ρ		Ωm[26])	$\rho = RS/l$
vodljivost	γ, σ		S/m	$\gamma = Gl/S = 1/\rho$
induktivitet	L	henri[27])	H	$L = \Phi/I$; 1 H = 1 Vs/A
međusobni induktivitet	M, L_{mn}	henri	H	$M = \Phi_{12}/I$
koeficijent sprege	$k, \varkappa$		1	$k = M/\sqrt{L_1 L_2}$
koeficijent rasipanja	σ		1	$\sigma = 1 - k^2$
broj navoja	N		1	
broj faza	m		1	
broj pari polova	p		1	
snaga (djelatna)	P	vat	W	$P = UI \cos \varphi$; 1 W = 1 J/s
jalova snaga	Q, P_q	var	var	$Q = UI \sin \varphi$
prividna snaga	S, P_s	voltamper	VA	$S = UI$
magnetski tok	Φ	veber[28])	Wb	1 Wb = 1 Vs = 10^8 maksvela
magnetska indukcija	B	tesla[29])	T	$B = d\Phi/dS$; 1 T = 1 Wb/m²
magnetomotorna sila	F, F_m	amper[30])	A	$F = \Sigma I$
jakost magnetskog polja	H	[31])	A/m	$H = B/\mu$
permeabilnost	μ		H/m	$\mu = B/H = \mu_0 \mu_r$
magnetska konstanta[32])	μ_0		H/m	$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ H/m

Primjedbe vidi na strani 59, 60. i 61.

Oznake i jedinice fizikalnih veličina (nastavak)

Veličina naziv	Veličina oznaka	Jedinica naziv**	Jedinica oznaka	Definicija odn. primjedba
relativna permeabilnost	μ_r		1	$\mu_r = \mu/\mu_0$
magnetski otpor, reluktancija	R, R_m		A/Wb	$R = F/\Phi$
magnetski provod, permeancija	Λ	henri	H	$\Lambda = \Phi/F = 1/R_m$; 1 H = 1 Wb/A
faktor snage*	$\cos\varphi$		1	$\cos\varphi = P/S$
faktor jalovosti*	$\sin\varphi$		1	$\sin\varphi = Q/S$
kut gubitaka*	δ		1	$\operatorname{tg}\delta = P/Q$
Svjetlosne veličine				
Tok isijavanja	Φ_e, P	vat	W	
svjetlosni tok	Φ, F	lumen[33])	lm	$\Phi = dQ/dt$
količina svjetlosti	Q	lumensekunda	lm·s	$Q = \Phi t$ (t = vrijeme)
osvijetljenost (jakost rasvjete)	E	luks[34])	lx	$E = d\Phi/dA$; 1 lx = 1 lm/m^2
svjetlosna emisija	H		lm/m^2	$H = d\Phi/dA$
svjetlosna jakost	I	kandela	cd	$I = d\Phi/d\omega$. Definiciju za cd vidi u 18.
luminancija (blijesak, sjajnost, sjaj, jarkost)	L	nit[35])	nt	$L = dI/dA$; 1 nt = 1 cd/m^2
faktor upijanja (apsorpcije)	α		1	$\alpha = \Phi_{aps.}/\Phi$
faktor odbijanja (refleksije)	τ		1	$\tau = \Phi_{refl.}/\Phi$
faktor propuštanja (transmisije)	ρ		1	$\alpha + \tau + \rho = 1$
indeks loma (refrakcije)[36])	n		1	$n = c_0/c$ (c_0 — u vakuumu)
konvergencija	D	dioptrija[37])	δ	$D = 1/f$ (f — fokusna dalj.)
korisnost svjetlosnog izvora	η		lm/W	

Primjedbe uz oznake i jedinice fizikalnih veličina

* Ova veličina nije navedena ni u Zakonu o mjernim jedinicama i mjerilima ni u jugoslavenskom standardu.

** Ovdje su zbog pomanjkanja prostora navedeni nazivi samo jednostavnih jedinica. Za složene jedinice (npr. za brzinu: metar po sekundi) navedena je samo oznaka jedinice.

[1]) Analitički kut koji odgovara radijanu kao jedinici geometrijskog kuta je čist broj čija je vrijednost 1. Prema tome 1 rad odgovara 1, a 1^0 odgovara $\pi/180$. Kadšto se upotrebljava oznaka rad 1 za analitički kut umjesto broja 1. Za geometrijski prostorni kut vrijedi analogno.

[2]) Ova vrijednost odgovara novijim mjerenjima (vidi i dokumentaciju IEC, TO 24). U JUS-u je navedena vrijednost 2,997 76 . 10^{-8} m/s prema Birgeu iz 1941.

[3]) Prirodni Napierov (Neperov) logaritam omjera dviju amplituda.

[4]) Naziv neper upotrebljava se za čist broj 1 kao jedinicu veličine »prirodni logaritam omjera dviju amplituda«. Ako je omjer amplituda jednak kvadratnom korijenu omjera snaga, tada 1 Np $\triangleq$ 20 lg e · dB = 8,685 890 dB.

Nastavak primjedaba na strani 60. i 61.

[5] Desetostruki obični logaritam omjera dviju snaga (ili energija).

[6] Naziv decibel upotrebljava se za čist broj 1 kao jedinicu veličine »desetostruki obični logaritam omjera dviju snaga (ili energija)«. Ako je omjer snaga jednak kvadratu omjera amplituda, tada 1 dB $\hat{=}$ (ln 10)/20 Np = 0,115 129 3 Np.

[7] U telekomunikacijama se ova jedinica naziva »neper po sekundi«.

[8] U telekomunikacijama se često naziva »neper«.

[9] U telekomunikacijama se često naziva »neper po metru«.

[10] Naziv u Zakonu o mjernim jedinicama i mjerilima kao i u JUS-u je njutn. Autor međutim smatra da bi iz eufonetskih razloga (vidi i Pravopis, tačka 171 h) ovu jedinicu trebalo nazivati njuton. — Sila se mjeri i nekoherentnom jedinicom kilopond (kp) = 1000 ponda (p). 1 kp = 9,806 65 N (tačno). 1 kilopond je vrlo približno težina jednog kilograma na geografskoj širini Pariza. U nekim zemljama upotrebljava se umjesto naziva kilopond naziv kilogram-sila. Ostale jedinice za silu vidi u 26a. Težina tijela je sila koja bi tijelu dala ubrzanje jednako ubrzanju slobodnog pada na tom mjestu.

[11] 1 J je rad koji izvrši sila kad se njezino hvatište pomakne za 1 m u smjeru sile. Prije se ova jedinica većinom nazivala džaul po engleskom fizičaru Joule-u jer se smatralo da se tako izgovara njegovo ime. Međutim je Međunarodna unija za fiziku i kemiju na svojem zasjedanju u Amsterdamu 1949. utvrdila da ovu jedinicu treba nazivati džul (jer se Joule u stvari čita džul). U elektrotehnici se rad i energija mjere u vatsatima ili njihovim višekratnicima. Ove i ostale jedinice za rad i energiju vidi u 27b.

[12] Ostale jedinice za snagu vidi u 27a.

[13] Oznaka »apsolutna« izražava ovdje samo to da se temperatura mjeri od apsolutne nule. Ovu veličinu nazivaju i termodinamička temperatura.

[14] Apsolutna nula je na −273,15° C. Definiciju Celzijeve skale vidi u primjedbi 5. ispod tablice 18 (strana 53).

[15] Ima različitih vrsta kalorija (vidi fusnotu 2) na strani 67). 1 međunarodna ili IT-kilokalorija = 1/860 kWh (tačno) = 4,1868 J.

[16] Ostale jedinice vidi u 29e.

[17] Ovu veličinu nazivaju i temperaturna vodljivost.

[18] 1 C je količina elektrike koja u jednoj sekundi proteče kroz presjek vodiča u kojemu konstantna električnat struja iznosi 1 A.

[19] Ovo je oznaka za efektivnu vrijednost. Trenutna vrijednost označuje se malim slovom: za napon *u* (ili *v*), za struju *i*.

[20] 1 volt je električni napon između dviju tačaka homogenog žičnog vodiča kojim teče konstantna struja 1 A ako se u žici između tih tačaka troši snaga 1 W.

[21] 1 F je kapacitet kondenzatora u kojem se između elektroda pojavi napon 1 V ako ga nabijemo nabojem 1 C.

[22] Ovu veličinu nazivaju još dielektričnost i dielektrična konstanta.

[23] Ovu veličinu nazivaju još dielektričnost slobodnog prostora (vakuuma), dielektrična konstanta slobodnog prostora, permitivnost slobodnog prostora i influenciona konstanta.

[24] Ranije, prije uvođenja Giorgijeva apsolutnog mjernog sistema, bila je jedinica 1 amper (tzv. međunarodni amper) definirana kao konstantna električna struja koja, protječući kroz vodenu rastopinu srebrnog nitrata, izluči iz njega 1,118 miligrama srebra.

[25] 1 Ω je električni otpor vodiča koji ne sadrži nikakve elektromotorne sile, a u kojemu konstantna potencijalna razlika od 1 V na njegovim krajevima uzrokuje struju od 1 A. Ranije, prije uvođenja Giorgijevog apsolutnog sistema jedinica, bila je jedinica 1 om (tzv. međunarodni om) definirana kao otpor za konstantnu električnu struju, temperature leda koji se tali, živinog stupca dugačkog 106,3 cm koji ima po cijeloj duljini jednak presjek, a masa mu iznosi 14,4521 grama. (Tada taj stupac ima presjek 1 mm².)

[26] Ostale jedinice vidi u 28.

[27] 1 H je induktivitet zatvorenog strujnog kruga u kojemu se inducira napon 1 V ako se struja u njemu linearno promijeni za 1 A. Ili: 1 H je induktivitet zatvorenog prstena u kojemu struja 1 A uzrokuje kroz prsten magnetski tok od jednog vebera.

[28] 1 Wb je magnetski tok koji u strujnom krugu s jednim zavojem inducira napon 1 V ako ga u jednoj sekundi linearno snizimo na nulu. Stara CGS jedinica za magnetski tok je maksvel (vidi str. 51, ad 7). 1 M (maksvel) = 10^{8} Wb.

[29] 1 T je magnetska indukcija u homogenom magnetskom polju u kojemu magnetski tok od 1 Wb prolazi okomito kroz presjek od 1 m². Naziv tesla usvojen je na zasjedanju IEC-a u Filadelfiji 1954. godine. 1 T = 1 Wb/m² = 10^{4} gausa = 10^{4} maksvela po cm². (1 gaus = 10^{4} maksvela po cm² — stara CGS jedinica, vidi str. 51, ad 6).

Nastavak na strani 61. dolje.

Faktori preračunavanja za prijelaz iz CGS-sistema u MKSA-sistem za elektromagnetske veličine

20

Naziv veličine	Oznaka	k_e	k_s	k_m
Količina elektrike	Q	$10/c$		10
Prostorna gustoća elektrike	ρ	$10^7/c$		10^7
Električni tok (tok pomaka)	Ψ	$10/4\pi c$		$10/4\pi$
Gustoća električnog toka (el. pomak)	D	$10^5/4\pi c$		$10^5/4\pi$
Električni potencijal	V	$10^{-8}c$		10^{-8}
Električno polje	E	$10^{-6}c$		10^{-6}
Kapacitet	C	$10^9/c^2$		10^9
Permitivnost (dielektričnost)	ε	$10^{11}/4\pi c^2$		$10^{11}/4\pi$
Relativna permitivnost (relat. dielektričnost)	ε_r	1		1
Struja	I	$10/c$		10
Gustoća struje	J	$10^5/c$		10^5
Magnetski tok	Φ	$10^{-8}c$	10^{-8}	
Magnetska indukcija	B	$10^{-4}c$	10^{-4}	
Jakost magnetskog polja	H	$10^3/4\pi c$	$10^3/4\pi$	
Permeabilnost	μ	$4\pi \cdot 10^{-7}/c^2$	$4\pi \cdot 10^{-7}$	
Relativna permeabilnost	μ_r	1	1	
Induktivitet	L	$10^{-9}c^2$	10^{-9}	
Magnetomotorna sila	F	$10/4\pi c$	$10/4\pi$	

c — brzina svjetlosti u vakuumu $= 2{,}997\,93 \cdot 10^{10}$ cm/s $\approx 3 \cdot 10^{10}$ cm/s.

Faktor preračunavanja k_e je faktor kojim treba pomnožiti iznos (mjerni broj, brojčanu vrijednost) izražen u neracionaliziranoj elektrostatskoj CGS-jedinici (CGSE-jedinici) da se dobije iznos (mjerni broj, brojčana vrijednost) u MKSA (tj. Giorgijevoj) jedinici:

$$\text{MKSA-iznos} = k_e \cdot \text{CGSE-iznos}$$

Analogno vrijedi za faktore preračunavanje k_s i k_m, gdje se k_s odnosi na simetrični ili Gaussov CGS-sistem (CGSS-sistem), a k_m na elektromagnetski CGS-sistem (CGSM-sistem).

---

[30]) Stara CGS jedinica za magnetomotornu silu je gilbert (Gb). Odnos između jedinica amper i gilbert ovisi o racionalizaciji. 1 A = 0,4 π = 1,257 neracionalnih gilberta. (Gilbert se obično upotrebljavao u neracionalnim jednadžbama.) Vidi str. 51, ad 7.

[31]) Stara CGS jedinica za jakost magnetskog polja je ersted (Oe). Odnos između jedinica A/m i Oe ovisi o racionalizaciji. 1 A/m = 4 π/1000 = $1{,}257 \cdot 10^{-2}$ neracionalnih ersteda odnosno 1 Oe ≈ 80 A/m. (Ersted se obično upotrebljavao u neracionalnim jednadžbama.) Vidi str. 51, ad 7.

[32]) Ovu veličinu nazivaju i permeabilnost slobodnog prostora (vakuuma) i indukciona konstanta.

[33]) 1 lm je svjetlosni tok isijavan u 1 steradijan od tačkastog izvora svjetlosti koji u svim smjerovima isijava jakost svjetlosti 1 kandela. Ovako definirani lumen (nazivali su ga i »novi lumen«) približno je jednak 0,98 ranijih internacionalnih lumena ili 1,09 Hefnerovih lumena.

[34]) Ostale jedinice vidi u 20a.

[35]) Vrlo često se upotrebljava veća jedinica 1 stilb (sb) = 10^4 nt. Ostale jedinice vidi u 20b.

[36]) To je omjer brzine svjetlosti u vakuumu prema brzini svjetlosti u promatranoj tvari.

[37]) Dioptrija je oznaka za jedinicu 1/m: 1 δ = 1/m.

JEDINICE

21 Dijelovi i višekratnici jedinica

Stavljanjem međunarodno usvojenih predmetaka (prefiksa) pred jedinice dobivamo nove jedinice koje su njihovi decimalni dijelovi ili njihovi decimalni višekratnici. Ti predmeci i njihova značenja jesu:

Dio ili višekratnik	Prefiks	Oznaka	Primjer
10^{-12} = 0,000 000 000 001	piko	p	pF — pikofarad
10^{-9} = 0,000 000 001	nano	n	nF — nanofarad
10^{-6} = 0,000 001	mikro	μ	μV — mikrovolt
10^{-3} = 0,001	mili	m	mA — miliamper
10^{-2} = 0,01	centi	c	cm — centimetar
10^{-1} = 0,1	deci	d	dl — decilitar
10^{0} = 1	—	—	—
10^{1} = 10	deka	da	dag — dekagram
10^{2} = 100	hekto	h	hl — hektolitar
10^{3} = 1 000	kilo	k	kcal — kilokalorija
10^{6} = 1 000 000	mega	M	MW — megavat
10^{9} = 1 000 000 000	giga	G	GWh — gigavatsat
10^{12} = 1 000 000 000 000	tera	T	TWh — teravatsat

Preporučuje se da se pretežno upotrebljavaju prefiksi koji daju jedinice čija se veličina međusobno razlikuje za faktor 10^3 (dakle p, n, μ, m odn. k, M, G, T).

22 Preračunavanje cola u milimetre

Osnova za preračunavanje: 1″ (col) = 25,4 mm

col	mm	col	mm	col	mm	col	mm	col	mm
$^1/_{32}$	0,794	$^3/_8$	9,525	$^3/_4$	19,050	$1^1/_4$	31,750	2	50,800
$^1/_{16}$	1,588	$^7/_{16}$	11,113	$^{13}/_{16}$	20,638	$1^3/_8$	34,925	$2^1/_4$	57,150
$^1/_8$	3,175	$^1/_2$	12,700	$^7/_8$	22,225	$1^1/_2$	38,100	$2^1/_2$	63,500
$^3/_{16}$	4,763	$^9/_{16}$	14,288	$^{15}/_{16}$	23,813	$1^5/_8$	41,275	$2^3/_4$	69,850
$^1/_4$	6,350	$^5/_8$	15,875	1	25,400	$1^3/_4$	44,450	3	76,200
$^5/_{16}$	7,938	$^{11}/_{16}$	17,463	$1^1/_8$	28,575	$1^7/_8$	47,625	4	101,600

Jedinice za duljinu

23a

1 metar (m) = 10 dm = 100 cm = 1000 mm = 10^6 μ = 10^9 mμ
1 kilometar (km) = 1000 m
1 mirijametar = 10 km = 10 000 m
1 astronomska jedinica (UA) = $149{,}50 \cdot 10^9$ m = 149 500 000 km
(= srednja udaljenost Zemlje od Sunca)
1 parsek (pc) = $30{,}837 \cdot 10^{15}$ m (= udaljenost iz koje bi se 1 UA vidjela pod paralaksnim kutom od 1 sekunde)
1 mikron (μ) = 10^{-3} mm = 10^{-6} m; 1 μ = 1 μm (mikrometar)
1 milimikron (mμ) = 10^{-3} μ = 10^{-6} mm = 10^{-9} m; 1 mμ = 1 nm(nanometar)
1 ongstrem (Å) = 0,1 mμ = 10^{-4} μ = 10^{-7} mm = 10^{-10}m[1]
1 x-jedinica = 10^{-3} Å = 10^{-13} m
1 mil = 0,0254 mm = $2{,}54 \cdot 10^{-5}$ m = 0,001″
1 line = 0,1 inch = 2,54 mm
1 cola, inch (in ili ″) = 2,54 cm = 25,4 mm = 1000 mils
1 stopa, foot[2] (ft) = 0,3048 m = 30,48 cm = 12 inches (12″)
1 jarda, yard (yd) = 0,9144 m = 3 feet = 36 inches (36″)
1 hvat, fathom = 1,8288 m = 2 jarde = 6 stopa = 72 cole
1 britanska milja, mile, statute mile = 1609,344 m
1 američka milja, USA statute mile = 3 brit. milje = 4,828 km
1 međunarodna pomorska milja = 1852 m [3]
1 britanska pomorska milja = 1853,18 m
1 USA pomorska milja = 1853,248 m
1 obična engleska (londonska) milja = 5000 ft (stopa) = 1524 m
1 rod, pole, perch = 5,0292 m
1 chain = 20,1168 m
1 furlong = 201,168 m = 10 chains

Preračunavanje cola u mm vidi u tablici 22.
Pretvorbu anglo-američkih jedinica u metričke i obratno vidi u 32.

Jedinice za površinu

23b

1 kvadratni metar (m^2) = 10 000 cm^2 = 1 000 000 mm^2; 1 cm^2 = 100 mm^2
1 kvadratni kilometar = 1 000 000 m^2 = 100 hektara
1 ar (a) = 100 m^2 (= kvadratu sa stranicama 10 m)
1 hektar (ha) = 100 a = 10 000 m^2 = 2780 kvadratnih hvati = $(100\ m)^2$
1 kvadratni (četvorni) hvat (□) = 3,5966 m^2 ≈ 3,6 m^2
1 jutro (j) = 5754 m^2 = 0,5754 ha = 1600 □
1 circular mil (circ. mil) = $5{,}067 \cdot 10^{-4}$ mm^2 = $5{,}067 \cdot 10^{-10}$ m^2
1 kvadr. cola, square inch (sq in) = 6,4516 cm^2 = 645,16 mm^2
1 kvadr. stopa, square foot (sq ft) = 929,030 cm^2 = 0,0929 m^2 = 144 sq in
1 kvadr.jarda, square yard (sq yd) = 0,836127 m^2 = 9 sq ft = 1296 sq in
1 rood = 1011,71 m^2
1 acre = 4046,86 m^2
1 kvadr. milja, square mile = 2 589 900 m^2 = 2,59 km^2 = 640 acres
1 township = 93,236 km^2

---

[1] 1 ongstrem je po definiciji 6438,4696-ti dio valne duljine crvene kadmijeve linije, a to je 10^{-10} m.
[2] Čitaj fut; množina feet, čitaj fit.
[3] Prihvaćena na Međunarodnoj hidrografskoj konferenciji 1929. godine. Od 1954. god. sve su zemlje osim Ujedinjenog kraljevstva usvojile ovu pomorsku milju (vidi JUS A.A1.040 i Zakon o mjernim jedinicama i mjerilima, Sl. list 45/1961).

23c Jedinice za volumen

1 m^3 = 1000 dm^3 = 1 000 000 cm^3; 1 dm^3 = 1000 cm^3
1 litra* (l) = 1,000 028 dm^3; 1 ml = 0,001 l
1 kubična cola, cubic inch (cb in) = 16,3871 cm^3
1 kubična stopa, cubic foot (cb ft) = 28,3168 dm^3
1 kubična jarda, cubic yard (cb yd) = 0,764 555 m^3
1 USA shipping ton (američka utovarna tona) = 40 cb ft = 1,133 m^3
1 British shipping ton (britanska utovarna tona) = 42 cb ft = 1,189 m^3
1 gallon britanski = 4,545 96 l = 4 quarts = 8 pints
1 quart britanski = 1,136 49 l = $^1/_4$ gallon
1 pint britanski (pt) = 0,568 245 l = $^1/_8$ gallon
1 fluid ounce britanski (fl oz) = 28,4122 ml
1 minim britanski (min) = 0,059 192 2 ml
1 bushel britanski = 36,3677 l = 8 gallons
1 quarter britanski = 290,942 l = 8 bushels = 64 gallons
1 liquid pint USA (liq pt) = 0,473 166 l = $^1/_4$ quart = $^1/_8$ gallon
1 minim USA (min) = 0,061 610 2 ml
1 barrel USA (za petrolej i slično) = 158,984 l = 42 gallons
1 bushel USA = 35,2383 l
1 USA liquid (tekućinski) gallon = 0,833 brit. gallons = 3,7853 l = 4 USA liquid quarts = 8 USA liquid pints
1 USA liquid quart = 0,946 33 l
1 USA dry (suhi) gallon = 4,404 78 l
1 dry pint USA = 0,550 598 l
1 dry barrel USA = 115,625 l
1 brodska (registarska) tona = 100 kubičnih stopa = 2,832 m^3

24a Jedinice za vrijeme

1 sekunda (s) = 1000 milisekunda (ms) = 1 000 000 mikrosekunda (μs)
1 minuta (min) = 60 s; 1 sat (h) = 60 min = 3600 s
1 dan = 24 h = 86 400 s
1 mjesec (od 30 dana) = 720 h = 43 200 min = 2 592 000 s
1 godina (obična) = 8760 h = 525 600 min = 31 536 000 s

24b Jedinice za brzinu

1 metar na sekundu (m/s) = 3,600 km/h
1 kilometar na sat (km/h) = 0,27778 m/s
1 metar na minutu (m/min) = 0,01 667 m/s = 1,667 cm/s
1 milja na sat = 0,4770 m/s = 1,609 km/h
1 foot per sec. = 0,3048 m/s
1 foot per min = 0,005 080 m/s = 0,5080 cm/s
1 čvor, uzao (pomorska milja na sat = knot = nautical miles per hour) = = 1,852 km/h = 0,5144 m/s

---

* 1 litra (litar) je volumen koji zauzima masa od 1 kg čiste vode na temperaturi na kojoj je njezina gustoća najveća i pod normalnim atmosferskim tlakom (1,013 250 bara).

Jedinice za masu

25 a

1 kilogram (kg) = 100 dekagrama (dag) = 1000 grama (g)
1 gram (g) = 1000 miligrama (mg)
1 (metrička) tona = 1000 kg
1 (metrički) kvintal = 50 kg
1 (metrička) centa (q) = 100 kg
1 grain* = 0,064 798 9 g = 64,7989 mg
1 dram* (dr) = 1,7718 g
1 unca, ounce* (oz) = 0,028 349 5 kg = 28,3495 g = 16 dr = 7000 grains
1 funta, pound* (lb) = 0,453 59 kg = 453,59 g = 16 oz = 256 dr
1 stone* = 6,3503 kg = 14 lb = $^1/_2$ quarter
1 quarter = 12,701 kg = 2 stones = $^1/_4$ cwt
1 (long) hundredweight (cwt) = 50,802 kg = 112 lb = 4 quarters
1 short hundredweight (sh cwt) = 1 U. S. quintal = 45,359 kg = 1000 lb
1 (long) ton (tn) = 1016,047 kg = 2240 lb
1 short ton (sh tn) = 907,18 kg = 2000 lb
1 njemačka funta = 0,5 kg = 500 g
1 metrički karat = 0,2 g = 200 mg (za drago kamenje)
1 karat (za zlato) = $^1/_{24}$ težinskih dijelova (npr. zlato od 18 karata ima $^{18}/_{24}$ = 0,75 dijelova zlata, tj. sadrži 75% čistog zlata)

Jedinice za gustoću

25 b

1 kilogram po kubičnom metru (kg/m^3) = 1000 kg/dm^3 = 1000 g/cm^3
1 kg/dm^3 = 1 g/cm^3 = 0,001 kg/m^3
1 funta po kubičnoj stopi, pound per cubic foot (lb per cb ft) = 16,0196 kg/m^3
1 funta po kubičnoj coli, pound per cubic inch (lb per cb in) = 0,027 66 kg/m^3 = 27,66 kg/dm^3 = 27,66 g/cm^3

Jedinice za silu

26 a

1 njutn (N) = 0,101 971 6 kilopond (kp) ≈ 0,1020 kp ≈ 0,1020 kg sile = 10^5 din
1 sten = 1000 N = 10^8 din = 101,9716 kp
1 din = 10^{-5} N = 10^{-8} sten = $1{,}020 \cdot 10^{-6}$ kp
1 kilopod (kp) = 1kg sile = 1000 pond (p) = 9,806 65 N = 980 665 din
1 tona sile = 1000 kp
1 unca sile, ounce (oz) = 0,2779 N = 0,02835 kp
1 funta sile, pound (lb) = 4,448 N = 0,4536 kp = 16 oz

Pazi! Težina tijela (u mirovanju, na ma kojem mjestu zemlje) je sila koja (u praznom prostoru) djeluje na njegovu podlogu. Ona u Giorgijevu sistemu jedinica (vidi 15) treba da se mjeri njutnima. Danas se još težina kao i sila većinom mjere kilogramima sile ili, kako ih u novije vrijeme nazivaju, kiloponima[1]). 1 kg sile = 1 kp je sila kojom teža privlači masu 1 kg na geografskoj širini Pariza.** Prema jednadžbi $G = mg$ (vidi str. 129.) djeluje teža na masu $m = 1$ kg uz $g = 9{,}806\ 65$ m/s^2 silom $G = 9{,}806\ 65$ N. Prema tome je 1 kp (= 1 kg sile) = 9,806 65 N.

Kilogram sile (kilopond) i kilogram mase jesu dvije posve različite jedinice kojima se mjere dvije sasvim različite veličine. Kilogram sile je relativna jedinica jer teža nije na svim mjestima zemljine kugle posve jednaka, a npr. na Mjesecu je daleko manja. Već zbog toga i zbog zbrke s kilogramom mase treba tu jedinicu izbjegavati ili je barem nazivati kilopod. Kilogram mase je međutim apsolutna jedinica jer se masa tijela ne mijenja gdje god se ono nalazilo.

---

* Ovo su avoirdupois jedinice. Ako se to želi posebno istaknuti, treba oznaci jedinice dodati oznaku avdo.

** Tačnije: Tamo gdje ubrzanje zemljine teže iznosi 9,806 65 m/s^2.

[1])Kilopod je u nas ozakonjen. (Vidi Zakon o mjernim jedinicama i mjerilima, Služb. list br. 45/61.)

26 b Jedinice za zakretni moment

1 njutn-metar (Nm) = 0,1020 kpm
1 kilopondmetar (kpm) = 9,807 Nm = $9{,}807 \cdot 10^7$ dincm = 7,233 lb-ft
1 dincm = 10^{-7} Nm = $0{,}1020 \cdot 10^{-7}$ kpm
1 lb-ft = 1,356 Nm = 0,1383 kpm

26 c Jedinice za tlak

1 N/m^2 (njutn po kvadratnom metru) = 0,1020 kp/m^2 = $1{,}020 \cdot 10^{-5}$ at
1 bar* = 100 000 N/m^2 = 10 197 kp/m^2 = 1,020 at
1 kp/m^2 (kilopond po kvadratnom metru) = 10^{-4} kp/cm^2 = 10^{-4} at = 9,807 N/m^2
1 kp/cm^2 = 1 at = 98 067 N/m^2 = 10 000 kp/m^2
1 at (atmosfera tehnička) = 1 kp/cm^2 = 10 m H_2O = 735,5 mm Hg = 98 067 N/m^2 = 10 000 kp/m^2
1 atm (atmosfera normalna ili fizička) = 760 mm Hg = 10,332 27 m H_2O = = 10 332,27 kp/m^2 = 1,033 227 at = 101 325,0 N/m^2
1 tor = 1 mm Hg.
1 mm Hg (milimetar stupca žive) = $1{,}359 \cdot 10^{-3}$ at (kp/cm^2) = 133,32 N/m^2
1 m H_2O (metar stupca vode) = 0,1 at (kp/cm^2)
1 lb per sq ft (pound per square foot, funta po kvadratnoj stopi) = 47,88 N/m^2 = 4,8824 kp/m^2
1 psi, lb per sq in (pound per square inch, funta po kvadratnoj coli) = 0,0703 at (kp/cm^2) = 6894 N/m^2
1 pièze (franc. jedinica) = 1 sten/m^2 = 0,1 N/cm^2 = 0,01020 at
1 barye (franc. jedinica) = 1 mikrobar (μb) = 1 din/cm^2
1 ata = 1 atmosfera (tehnička) apsolutnog tlaka
1 atp = 1 atmosfera (tehnička) pretlaka

27 a Jedinice za snagu

1 vat (W) = 1 džul po sekundi (J/s) = 1 metar-njutn po sekundi (mN/s) = = 0,1020 mkp/s = 0,860 kcal/h = 0,2388 cal/s
1 kilovat (kW) = 1000 W = 102,0 mkp/s = 860 kcal/h = 0,2388 kcal/s
1 metarkilopond po sek.[1]) (mkp/s) = 9,807 W
1 konjska snaga (KS) = 75 mkp/s = 735,499 W
1 horse power, anglo-američka konjska snaga (HP) = 745,7 W = 76,05 mkp/s = 1,014 KS
1 kilokalorija[2]) na sat (kcal/h) = 1,1630 W
1 kilokalorija[2]) po sek. (kcal/s) = 4,1868 kW; 1 cal/s = 4,1868 W
1 erg po sek. (erg/s) = 10^{-7} W
1 foot-pound per second (ft-lb/s) = 1,356 W = 0,1383 mkp/s

---

* To je tzv. metrološki bar (za razliku od fizikalnog bara = 1 din/cm^2 = = 0,1 N/m^2).

[1]) 1 mkg/s = 1 kgm/s = 1 mkp/s. Vidi primjedbu [1]) na narednoj strani.
[2]) Međunarodna, vidi primjedbu [2]) na narednoj strani.

27 b

Jedinice za energiju i rad

1 džul (J) = 1 vatsekunda (Ws) = 1 metar-njuton (mN) = 0,101 972 mkp = = 2,772 · 10^{-7} kWh = 2,3884 · 10^{-4} kcal = 10^7 erga
1 kilodžul (kJ) = 1000 J = 1 kilovatsekunda (kWs) = 101,972 mkp = 0,238 84 kcal
1 megadžul (MJ) = 1000 kJ = 1 000 000 J
1 metarkilopond[1]) (mkp) = 9,807 J = 2,724 · 10^{-6} kWh = 2,3423 · 10^{-3} kcal
1 kilovatsat (kWh) = 1000 vatsati (Wh) = 3,600 MJ = 367 099 mkp = 1,360 KSh = 860 kcal[2])
1 konjska snaga-sat (KSh) = 2,648 MJ = 270 000 mkp = 0,7355 kWh = 632,4 kcal
1 kilokalorija[2]) (kcal) = 1000 kalorija (cal) = 4,1868 kJ = 1,1628 Wh
1 erg = 1 centimetar-din (cmdin) = 10^{-7} J
1 centimetar-gram[3]) (cmg) = 980,7 erg
1 elektron-volt[4]) (eV) = 1,602 07 · 10^{-19} J.
1 metar-tona (mt) = 1000 mkp
1 foot-pound (ft-lb) = 1,356 J = 0,1383 mkp
1 British thermal unit[5]) (Btu) = 0,2520 kcal = 0,293 Wh = 1,055 kJ = 107,6 mkp = 778,0 ft-lb
1 thermie (franc. jedinica) = 1000 $kcal_{15}$
1 kvintoterma (Q) (angloamerička jedinica) = 10^{18} Btu

28

Jedinice za specifični otpor

1 Ωm = 100 Ωcm = 10^6 Ωmm²/m   1 Ωcm = 0,01 Ωm = 10 000 Ωmm²/m
1 Ωmm²/m = 10^{-6} Ωm = 10^{-4} Ωcm = 1 μΩm (mikroom-metar)
1 μΩinch = 2,54 μΩcm = 0,0254 μΩm
1 Ωmil/ft = 0,1662 μΩcm = 0,001 662 μΩm

29 a

Jedinice za temperaturu

(^{0}C — stupanj Celsiusa, ^{0}K — stupanj Kelviña, ^{0}F — stupanj Farenheita, ^{0}R — stupanj Réaumura)

Apsolutna nula	—273,15^0 C	0^0 K	—459,6^0 F	—218,6^0 R
Ledište	0^0 C	273,16^0 K	32^0 F	0^0 R
Vrelište	100^0 C	373,16^0 K	212^0 F	80^0 R

---

[1]) 1 metarkilopond = 1 kilopondmetar = 1 metarkilogram = 1 kilogram-metar, gdje kilogram znači kilogram sile. Metarkilogram odnosno kilogram-metar kao naziv jedinice valja izbjegavati.

[2]) To je međunarodna ili IT kilokalorija koja je po definiciji jednaka 1/860 međunarodnih kWh. Ta je kcal upotrebljena kao osnova za međunarodne tablice pare (IT – Internacional Tables). Još se upotrebljavaju:

a) Srednja kilokalorija = 4,186 kJ = stoti dio količine topline koja je potrebna da se 1 kg destilirane vode zagrije od 0 do 100^0 C.

b) Apsolutna elektr. kilokalorija = 4,1876 kJ = 1/860 aps. kWh (po definiciji).

c) Obična ili 15-stepenska kilokalorija ($kcal_{15}$) = 4,1855 kJ = količina topline koja je potrebna da se 1 kg destilirane vode zagrije od 14,5 na 15,5^0 C.

d) U SSSR je standardna kilokalorija pri 20^0 C = 4,182 kJ (OST VKS 6259).

e) U SAD je standardna kcal = 4,184 09 J.

Kako se vidi, sve se te kilokalorije tako malo razlikuju da se te razlike u tehničkoj praksi obično mogu zanemariti.

Za kilokaloriju upotrebljavaju se još ponekad zastarjeli nazivi kilogram-kalorija ili velika kalorija, a za kaloriju nazivi gramkalorija ili mala kalorija.

[3])Gram je ovdje gram sile = 0,001 kp.

[4]) Energija koju primi elektron kad u vakuumu prijeđe potencijalnu razliku 1 V.

[5]) British thermal unit = britanska toplinska jedinica; to je količina topline koja 1 funtu (pound) destilirane vode ugrije za 1^0 Fahrenheita.

	°C	°K	°F	°R
u °C =	u °C	$(u+273{,}1)$ °K	$\left(\frac{9}{5}u+32\right)$ °F	$\frac{4}{5}u$ °R
v °K =	$(v-273{,}1)$ °C	v °K	$\left(\frac{9}{5}v-459{,}6\right)$ °F	$\left(\frac{4}{5}v-218{,}6\right)$ °R
w °F =	$\frac{5}{9}(w-32)$ °C	$\left(\frac{5}{9}w+255{,}3\right)$ °K	w °F	$\frac{4}{9}(w-32)$ °R
z °R =	$\frac{4}{5}z$ °C	$\left(\frac{4}{5}z+273{,}1\right)$ °K	$\left(\frac{9}{4}z+32\right)$ °F	z °R

Pretvorba stupnjeva Fahrenheita u stupnjeve Celsiusa

°F	°C	°F	°C	°F	°C	°F	°C	°F	°C
−459,6	−273,1	130	54,4	360	182,2	600	315,5	840	448,8
−400	−240,0	140	60,0	370	187,7	610	321,1	850	454,4
−300	−184,4	150	65,5	380	193,3	620	326,6	860	460,0
−200	−128,8	160	71,1	390	198,8	630	332,2	870	465,5
−100	− 73,3	170	76,6	400	204,4	640	337,7	880	471,1
− 50	− 45,5	180	82,2	410	210,0	650	343,3	890	476,6
− 40	− 40,0	190	87,7	420	215,5	660	348,8	900	482,2
− 30	− 34,4	200	93,3	430	221,1	670	354,4	910	487,7
− 20	− 28,8	210	98,8	440	226,6	680	360,0	920	493,3
− 10	− 23,3	212	100,0	450	232,2	690	365,5	930	498,8
0	− 17,7	220	104,4	460	237,7	700	371,1	940	504,4
10	− 12,2	230	110,0	470	243,3	710	376,6	950	510,0
20	− 6,6	240	115,5	480	248,8	720	382,2	960	515,5
30	− 1,1	250	121,1	490	254,4	730	387,7	970	521,1
32	0	260	126,6	500	260,0	740	393,3	980	526,6
40	+ 4,4	270	132,2	510	265,5	750	398,8	990	532,2
50	10,0	280	137,7	520	271,1	760	404,4	1000	537,7
60	15,5	290	143,3	530	276,6	770	410,0	1100	593,3
70	21,1	300	148,8	540	282,2	780	415,5	1200	648,8
80	26,6	310	154,4	550	287,7	790	421,1	1300	704,4
90	32,2	320	160,0	560	293,3	800	426,6	1400	760,0
100	37,7	330	165,5	570	298,8	810	432,2	1500	815,5
110	43,3	340	171,1	580	304,4	820	437,7	2000	1093,3
120	48,8	350	176,6	590	310,0	830	443,3	3000	1648,8

Za interpolaciju

°F	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
°C	0,6	1,1	1,7	2,2	2,8	3,3	3,9	4,4	5,0	5,6	11,1	16,7	22,2	27,8	33,3	38,9	44,4	50,0	55,6

Na primjer: Talište Cu = 1982° F. 1000° F = 537,7° C, 900° F = 500° C, 80° F = 44,4° C,
2° F = 1,1° C, 1982° F = 537,7 + 500 + 44,4 + 1,1 = 1083° C

29b

Jedinice za toplinu

Vidi jedinice za energiju i rad u 27b.

Jedinice za specifičnu toplinu

29 c

(Jedinice za toplinu vidi među jedinicama za energiju i rad)

1 J/kg · step (džul po kilogramu i stepenu) = 0,238 84 cal/kg · step.
1 kJ/kg · step (kilodžul po kilogramu i stepenu) = 1 J/g · step. = 0,238 84 kcal/kg · step.
1 kcal/kg · step. = 1 cal/g · step = 4,1868 kJ/kg · step.
1 kWh/kg · step. = 860 kcal/kg · step. = 3600 kJ/kg · step.
1 Btu/lb · ^{0}F = 1 kcal/kg · step.

Primjedba: Oznaka step. označuje centezimalni stepen (stupanj), tj. stepen s Celsiusove skale. (Piše se i ^{0}C, degС ili deg.)

Jedinice za toplinu sagorijevanja (ogrjevnu moć)

29 d

1 J/kg (džul po kilogramu) = 0,239 cal/kg
1 kJ/kg (kilodžul po kg) = 0,239 kcal/kg
1 kcal/kg = 4,1868 kJ/kg
1 Btu/lb = 0,5557 kcal/kg = 2,327 kJ/kg
1 Btu/ft^3 = 8,899 kcal/kg = 37,26 kJ/kg

Definicije za toplinu sagorijevanja i ogrjevnu moć vidi u 60/7 i 60/8, str. 149.

Jedinice za toplinsku vodljivost

29 e

Jedinica				Temperaturna skala	Faktor k_1	Faktor k_2
topline	površine	debljine	vremena			
cal_{15}	cm^2	cm	s	centezimalna	1	1
$kcal_{15}$	m^2	cm	h	„	$3,6 \cdot 10^4$	$2,778 \cdot 10^{-5}$
J (džul)	cm^2	cm	s	„	4,186	0,2389
kWh	m^2	cm	h	„	41,86	0,02389
Btu	ft^2	inch	h	po Fahrenheitu	2903	$3,445 \cdot 10^{-4}$
J (džul)	ft^2	inch	s	„ „	850,6	$1,176 \cdot 10^{-3}$
kWh	ft^2	inch	h	„ „	0,8506	1,176

Da se toplinska vodljivost izražena u jedinici u prvom retku gornje tablice pretvori u toplinsku vodljivost izraženu jedinicama iz bilo kojeg drugog retka, treba je pomnožiti faktorom k_1.

Da se topl. vodljivost izražena u jedinici iz bilo kojeg retka pretvori u toplinsku vodljivost izraženu jedinicom u prvom retku, treba je pomnožiti faktorom k_2. Da se topl. vodljivost izražena u jednoj jedinici pretvori u topl. vodljivost izraženu u nekoj drugoj jedinici, treba je pomnožiti omjerom faktora k_1 za traženu jedinicu i za prvotnu jedinicu.

30 a Jedinice za osvijetljenost (jakost rasvjete)

1 lx (luks) = 0,0001 ph (fot) = 0,1 mph (milifot)
1 ph (fot) = 1000 mph = 10 000 lx
1 mph (milifot) = 0,001 ph = 10 lx
1 ft-c (foot-candle) = 10,76 lx; 1 lx = 0,0929 ft-c

30 b Jedinice za sjajnost

1 nt (nit) = 1 cd/m^2 = 10^{-4} sb
1 sb (stilb) = 1 cd/cm^2 = 10 000 nt = 31 400 asb (apostilb) = 3,14 L (lambert)
1 asb (apostilb) = 0,318 · 10^{-4} sb = 0,318 nt = 0,1 mL (mililambert)
1 L (lambert) = 0,318 sb = 10 000 asb = 3180 nt
1 mL (mililambert) = 0,318 · 10^{-3} sb = 0,001 L = 10 asb = 3,180 nt
1 ft-L (foot-lambert) = 0,343 · 10^{-3} sb = 10,76 asb = 1,08 mL
1 cd per sq in = 0,155 sb
1 cd per sq ft = 0,001 08 sb = 33,8 asb

31 Odnosi između prijašnjih međunarodnih i novih apsolutnih električkih jedinica

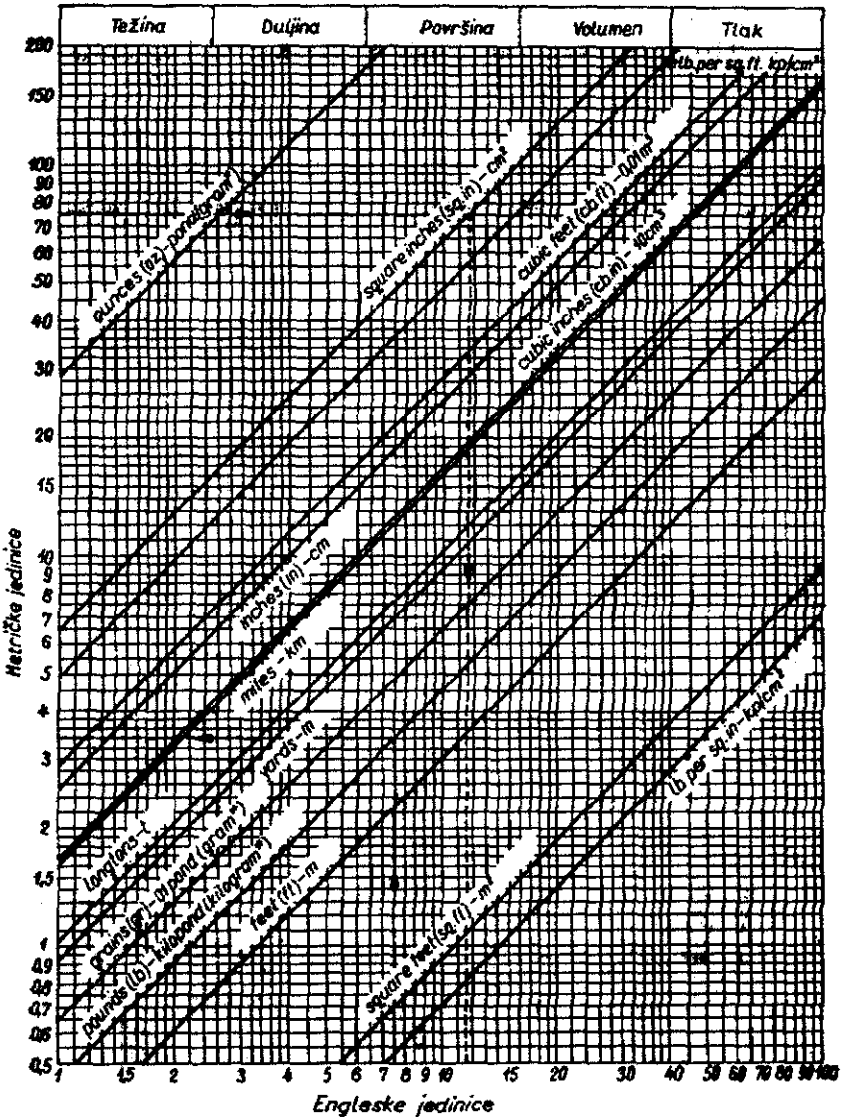
1 srednji	int.	volt	= 1,000 34	(1,00033)	apsolutnih	volta
1 „	„	om	= 1,000 49	(1,000 495)	„	oma
1 „	„	amper	= 0,999 85	(0,999 835)	„	ampera
1 „	„	kulon	= 0,999 85	(0,999 835)	„	kulona
1 „	„	vat	= 1,000 19	(1,000 165)	„	vata
1 „	„	džul	= 1,000 19	(1,000 165)	„	džula
1 „	„	farad	= 0,999 51	(0,999 505)	„	farada
1 „	„	henri	= 1,000 49	(1,000 495)	„	henrija
1 „	„	veber	= 1,000 34	(1,000 33)	„	vebera

Prve se vrijednosti osnivaju na rezoluciji Međunarodnog komiteta za težine i mjere iz god. 1946.

Vrijednosti u zagradama jesu norme američkog National Bureau of Standards.

Kako se vidi, razlika iznosi 0,015 do 0,049% (dakle manje od 0,5 promila!). Prema tome je ne treba uzeti u obzir čak ni kod vrlo preciznih laboratorijskih instrumenata sa tačnošću 0,1%.

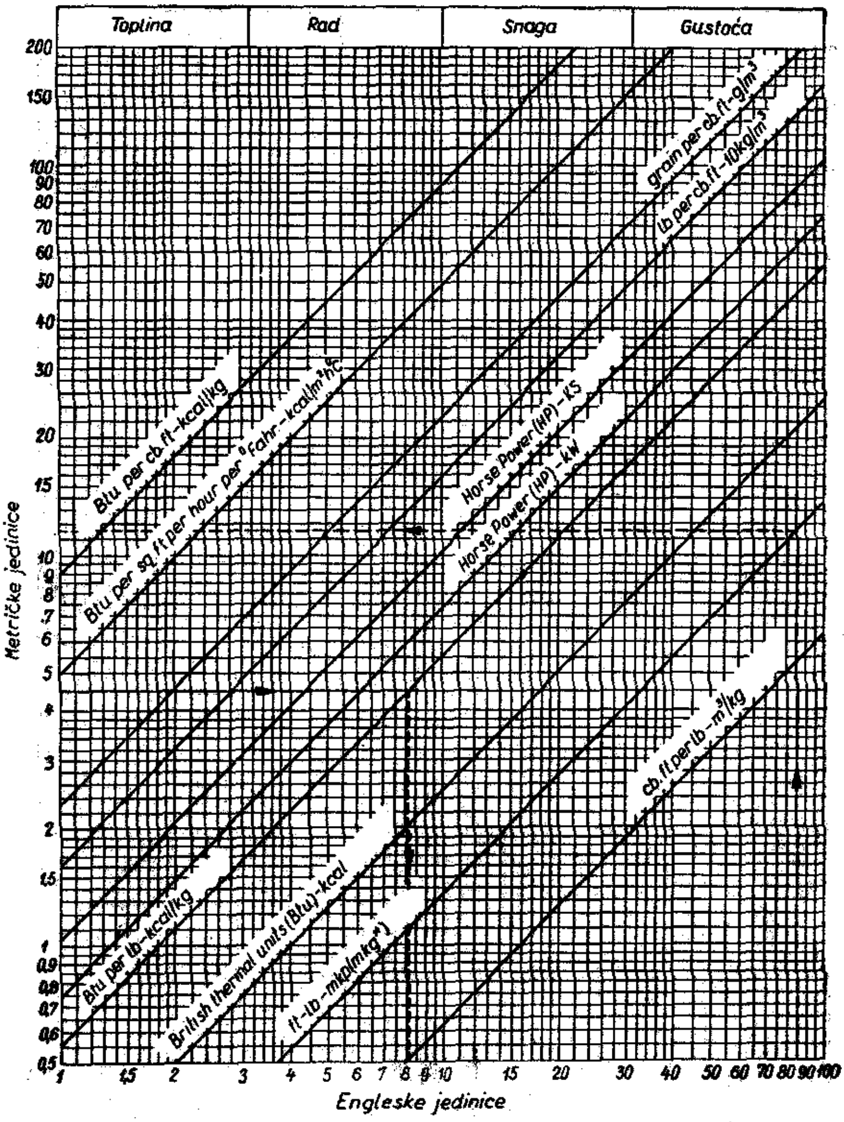
Dijagram za pretvorbu engleskih jedinica u metričke i obratno I



Primjeri: 7,5 pounds = 3,41 kp ; 75 cm² = 11,6 square inches

* Gram odnosno kilogram sile.

Dijagram za pretvorbu engleskih jedinica u metričke i obratno II



Primjeri: 85 ft.lb = 11,3 mkp (metarkilopond); 4500 kcal/kg = 8100 Btu per lb

*Kilogram sile.

Američke i britanske mjere i oznake za žicu

AWG = American Standard Wire Gauge*, američka žična mjera; zovu je također i Brown & Sharp Gauge (B & S).

IWG = Imperial Standard Wire Gauge, britanska žična mjera; zove se također i naprosto Standard Wire Gauge (SWG), New British Standard Gauge i English Legal Standard Gauge.

BWG = Birmigham Wire Gauge.

Oznaka	Promjer u mm			Oznaka	Promjer u mm		
	AWG	IWG	BWG		AWG	IWG	BWG
7/0		12,700		23	0,574	0,610	0,635
6/0	14,732	11,786		24	0,511	0,559	0,559
5/0	13,119	10,973		25	0,452	0,508	0,508
4/0	11,684	10,160	11,532	26	0,401	0,457	0,457
3/0	10,404	9,449	10,795	27	0,361	0,417	0,406
2/0	9,266	8,839	9,652	28	0,320	0,376	0,356
1/0	8,252	8,230	8,636	29	0,287	0,345	0,330
1	7,348	7,620	7,620	30	0,254	0,315	0,305
2	6,543	7,010	7,214	31	0,226	0,295	0,254
3	5,827	6,401	6,579	32	0,203	0,274	0,229
4	5,189	5,893	6,045	33	0,180	0,254	0,203
5	4,620	5,385	5,588	34	0,160	0,234	0,177
6	4,115	4,877	5,156	35	0,142	0,213	0,127
7	3,665	4,470	4,572	36	0,127	0,193	0,101
8	3,264	4,064	4,191	37	0,114	0,173	
9	2,906	3,607	3,759	38	0,102	0,152	
10	2,588	3,251	3,404	39	0,089	0,132	
11	2,304	2,946	3,048	40	0,079	0,122	
12	2,052	2,642	2,769	41	0,071	0,112	
13	1,829	2,337	2,413	42	0,064	0,102	
14	1,628	2,032	2,108	43	0,056	0,091	
15	1,450	1,829	1,829	44	0,051	0,081	
16	1,290	1,626	1,651	45	0,046	0,071	
17	1,151	1,422	1,473	46	0,041	0,061	
18	1,024	1,219	1,247	47	0,036	0,051	
19	0,912	1,016	1,067	48	0,030	0,041	
20	0,813	0,914	0,889	49	0,028	0,030	
21	0,724	0,813	0,813	50	0,025	0,025	
22	0,643	0,711	0,711				

Prema DIN-Mitteilungen iz XI/1952, tom 31, svezak 11, str. 253—254.

* Kaže se i gage (čitaj gejdž) umjesto gauge (čitaj godž).

OPĆA ELEKTROTEHNIKA

NEKE OSNOVNE ELEKTROTEHNIČKE FORMULE

1. Opće formule

1.1. Otpor (omski, djelatni)

$$R = \frac{\rho l}{S} = \frac{l}{\gamma S} \quad [\Omega,\ \Omega mm^2/m,\ m,\ mm^2,\ m/\Omega mm^2]$$

ρ - spec. otpor; l - duljina; S - presjek; γ - vodljivost

1.2. Provod (vodljiva vrijednost, omska, djelatna)

$$G = \frac{1}{R} = \frac{S}{\rho l} = \frac{\gamma S}{l} \text{ simensa [oznake kao u 1.1]}$$

1.3. Povećanje otpora s temperaturom

$$R_t = R_h\,[1 + \alpha\,(\vartheta_t - \vartheta_h)] \quad [\Omega,\ 1/^0C,\ ^0C]$$

R_t - otpor pri višoj temperaturi (»topli otpor«), R_h - otpor pri nižoj temperaturi (»hladni otpor«), α - temper. koeficijent otpora, ϑ_t - viša temper., ϑ_h - niža temperatura

1.4. Ohmov zakon za istosmjernu struju

$$I = \frac{U}{R} \quad [A,\ V,\ \Omega]$$

I - struja, U - napon, R - otpor

1.5. Ohmov zakon za izmjeničnu struju

$$I = \frac{U}{Z} = \frac{U}{\sqrt{R^2 + X^2}} = \frac{U}{\sqrt{R^2 + \left(2\pi f L - \frac{1}{2\pi f C}\right)^2}} \quad [A,\ V,\ Hz,\ \Omega]$$

$$Z = \sqrt{R^2 + X^2} \quad [\Omega]$$

$$X = X_L - X_C$$

$$X_L = \omega L = 2\pi f L \quad [\Omega, \mathrm{Hz}, \mathrm{H}]; \qquad X_C = \frac{1}{\omega C} = \frac{1}{2\pi f C} \quad [\Omega, \mathrm{Hz}, \mathrm{F}]$$

I - struja U - napon, Z - prividni otpor, R - djelatni otpor, X - jalovi otpor, f - frekvencija, L - induktivitet, C - kapacitet, X_L - induktivni otpor, X_C - kapacitivni otpor, ω - kutna brzina (kružna frekvencija).

1.6. Fazni pomak φ

$$\cos\varphi = \frac{R}{\sqrt{R^2 + X^2}} \qquad \mathrm{tg}\,\varphi = \frac{R}{\omega L}$$

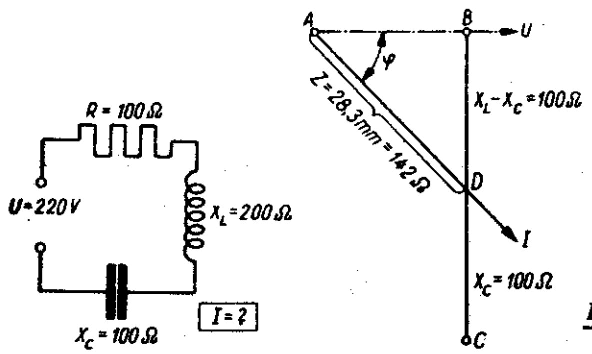
$\cos\varphi$ - faktor snage

1.7. Djelatna i jalova struja

$$I_r = I\cos\varphi; \quad I_x = I\sin\varphi \quad [\mathrm{A}]$$

I_r - djelatna struja I_x - jalova struja

1.8. Grafičko izračunavanje struje i faznog pomaka



$\overline{AB} = R$
$\overline{BC} = X_L$
$\overline{CD} = X_C$
$\overline{BD} = X_L - X_C$
$\overline{AD} = Z$
$I = 220 : 142 = 1,55\ \mathrm{A}$

Uputa: Odabrano mjerilo 1 mm = 5 Ω. Otpor R položi se u horizontalnu os, na njegovu kraju B nanese se u okomicu prema dolje X_L, a od njegova kraja C prema gore X_C. Dobiveni kraj D spoji se s početkom A. Dužina $\overline{AD} = Z$ (prividni otpor). Napon se položi u smjer od R, a struja u smjer od Z. Kut između njih je fazni kut.

1.9. Rezonancija

Rezonancija nastaje kad je induktivni otpor jednak kapacitivnom:

$$\omega L = \frac{1}{\omega C}$$

Odavle:

$$f = \frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{1}{LC}} \quad [\text{Hz, H, F}]$$

1.10. Kirchhoffov zakon za struje

U svakom čvorištu mora biti $I_1 + I_2 + \ldots = \Sigma I = 0$.
Za izmjeničnu struju mora biti $\Sigma(I\cos\varphi) = 0$ i $\Sigma(I\sin\varphi) = 0$.

1.11. Kirchhoffov zakon za napone

U svakoj petlji mora biti $\Sigma U = \Sigma E$. Ako se uzme $E = -U$, tada je $\Sigma U = 0$ (U — pad napona, E — elektromotorna sila).

1.12. Serijski otpori

Ukupni otpor jednak je zbroju pojedinih otpora: $R = R_1 + R_2 + R_3 + \ldots$

Kod izmjenične struje: $Z = Z_1 \hat{+} Z_2 \hat{+} Z_3 \hat{+} \ldots$ (vektorski zbroj!)

1.13. Paralelni otpori

Ukupni provod (vodljiva vrijednost) jednak je zbroju pojedinih provoda:

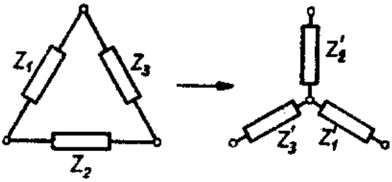
$$G = G_1 + G_2 + G_3 + \ldots \quad \text{ili} \quad \frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \ldots$$

Kod izmjenične struje: $Y = Y_1 \hat{+} Y_2 \hat{+} Y_3 \hat{+} \cdots$ (vektorski zbroj)
(Y - prividni provod)

1.14. Pretvorba trokuta u ekvivalentnu zvijezdu i obratno (kod transfiguracije mreže)

Označimo sa $a = \dfrac{Z_1 \cdot Z_2 \cdot Z_3}{Z_1 + Z_2 + Z_3}$

$b = Z_1' Z_2' + Z_2' Z_3' + Z_3' Z_1'$



pa je za pretvorbu trokuta u zvijezdu: $Z_1' = \dfrac{a}{Z_1}$, $Z_2' = \dfrac{a}{Z_2}$, $Z_3' = \dfrac{a}{Z_3}$

a za pretvorbu zvijezde u trokut: $Z_1 = \dfrac{b}{Z_1'}$, $Z_2 = \dfrac{b}{Z_2'}$, $Z_3 = \dfrac{b}{Z_3'}$

1.15. Napon na stezaljkama članka

$$U = E - IR_u \qquad [\text{V, V, A, }\Omega]$$

U - napon na stezaljkama, E - elektromotorna sila, I - struja opterećenja, R_u - unutarnji otpor članka.

1.16. Mješoviti spoj članaka

$$I = \frac{nE}{\frac{nR_u}{m} + R_v} \qquad [\text{A, V, }\Omega]$$

I - struja, E - elektromotorna sila pojedinog članka, n - broj članaka spojenih u seriju, m - broj članaka spojenih paralelno, R_u - unutarnji otpor pojedinog članka, R_v - vanjski otpor. Struja je najveća kad je $\frac{nR_u}{m} = R_v$.

1.17. Snaga kod istosmjerne struje

$$P = UI \quad [\text{W, V, A}]; \qquad P = I^2R \quad [\text{W, A, }\Omega]$$

1.18. Snaga kod jednofazne izmjenične struje

Djelatna snaga $P = UI\cos\varphi$ [W, V, A]; $P = I^2R$ [W, A, Ω]

$P = S\cos\varphi$

Jalova snaga $Q = UI\sin\varphi$ [var, V, A]

$Q = S\sin\varphi$

Prividna snaga $S = UI$ [VA, V, A]; $S = \sqrt{P^2 + Q^2}$

1.19. Snaga kod trofaznog sistema (jedinice vidi u 1.18)

Djelatna snaga $P = \sqrt{3}\,UI\cos\varphi = S\cos\varphi$

Jalova snaga $Q = \sqrt{3}\,UI\sin\varphi = S\sin\varphi$

Prividna snaga $S = \sqrt{3}\,UI = \sqrt{P^2 + Q^2}$

1.20. Faktor snage

$$\cos\varphi = \frac{P}{S}$$

1.21. Kut gubitaka

$$\operatorname{tg}\delta = \frac{P}{Q}$$

1.22. Rad, energija

Djelatni: $W = \int P\mathrm{d}t$ [Ws, W, s]

$W = Pt$ [kWh, kW, h] - samo za jednoliko opterećenje

Jalovi: $W_q = \int Q\mathrm{d}t$ [VArs, var, s]

$W_q = Qt$ [kVarh, kvar, h] - samo za jednol. opterećenje

Prividni: $W_s = \int S\mathrm{d}t$ [VAs, VA, s]

$W_s = St = \sqrt{W^2 + W_q^2}$ [kVAh, kVA, h] - samo za jednol. opterećenje

1.23. Toplinsko djelovanje struje (Jouleov zakon)

$$Q = 0{,}24\, I^2Rt \qquad [\text{cal, A, } \Omega\text{, s}]$$

Q - količina topline, I - struja, R - otpor, t - vrijeme, I^2R - toplotvorna snaga.

1.24. Kemijsko djelovanje struje (Faradayev zakon)

$$m = 0{,}1036 \frac{A}{n} It \cdot 10^{-6} \qquad [\text{g, A, s}]$$

m - teoretska količina materije koja se taloži na elektrodama, A - atomna masa tvari, n - valentnost tvari, I - struja, t - vrijeme.

1.25. Elektrodinamičko djelovanje struje (Biot-Savartov zakon)

Dva paralelna vodiča u kojima teče struja djuluju jedan na drugi silom:

$$F = 2{,}04 \frac{I_1 I_2}{a} \cdot 10^{-6} \qquad [\text{kp/m, A, m}]$$

F - sila po jedinici duljine vodiča, I_1, I_2, - struje u vodičima, a - razmak između vodiča.

Ako struja teče u oba vodiča u istom smjeru oni se privlače, ako je smjer struje različit oni se odbijaju.

1.26. Jakost magnetskog polja i magnetska indukcija oko ravnog vodiča

$$H = \frac{I}{2\pi a} \qquad [\text{A/m, A, m}]$$

$$B = \frac{0{,}2\, I}{a} \cdot 10^{-6} \qquad [\text{T, A, m}]$$

$$B = \frac{0{,}2\, I}{a} \qquad [\text{G, A, cm}].$$

H - jakost magnetskog polja u smjeru okomitom na vodič, I - struja kroz vodič, a - udaljenost promatrane tačke od vodiča, B - magnetska indukcija u smjeru okomitom na vodič.

1.27. Veza između magnetske indukcije i jakosti magnetskog polja

$$B = \mu H = \mu_r \mu_o H \qquad [\text{T, H/m, A/m}]$$

B - magn. indukcija (gustoća magn. toka, magnetska pobuđenost), H - jakost magnetskog polja, μ - permeabilnost, μ_r - relativna permeabilnost (čist broj!), μ_o - magnetska konstanta (permeabilnost vakuuma). U Giorgijevu sustavu je $\mu_o = 0{,}4\,\pi\ \mu\text{H/m} = 1{,}257\ \mu\text{H/m} = 1{,}257 \cdot 10^{-6}\ \text{H/m}$. Uz upotrebu CGSM jedinice gaus za magn. indukciju te jedinice ersted za jakost magnetskog polja iznosi $\mu = 1$ u klasičnom neracionalnom pisanju. O racionalizaciji vidi u 16 na strani 51. Bez obzira na mjerni sustav, μ_r je za dijamagnetičke tvari < 1, za paramagnetičke > 1, a za feromagnetičke $\gg 1$.

1.28. Sila na vodič u magnetskom polju

$$F = BlI \qquad [\text{N, T, m, A}]$$

$$F = 10{,}2\, BlI \cdot 10^{-6} \qquad [\text{kp, G, cm, A}]$$

F - sila na vodič uz uvjet da je magnetsko polje homogeno i okomito na vodič, B - magnetska indukcija, l - duljina vodiča u magnetskom polju, I - struja koja teče kroz vodič.

1.29. Zakon elektromagnetske indukcije

a) $E = 4{,}44\, fN\Phi_m \qquad [\text{V, Hz, Wb}]$
$E = 4{,}44\, fN\Phi_m \cdot 10^{-8} \qquad [\text{V, Hz, M}]$
} Vrijedi samo za sinusno polje

E - inducirana elektromotorna sila, f - frekvencija, N - broj zavoja svitka, Φ_m - maksimalna vrijednost promjenljivog magnetskog toka.

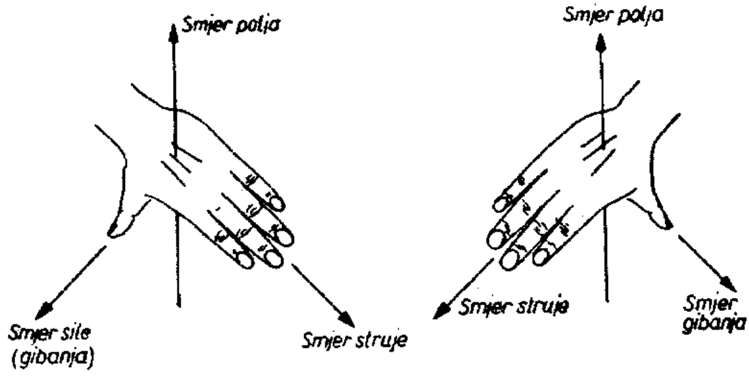
b) $E = Blv \qquad [\text{V, T, m, m/s}]$

$E = Blv \cdot 10^{-8}\ [\text{V, G, cm, cm/s}]$

E - inducirana elektromotorna sila, B - magnetska indukcija, l - duljina vodiča u homogenom magnetskom polju, v - brzina vodiča okomito na smjer polja.

1.30. Pravilo lijeve i desne ruke

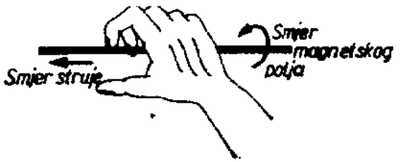
P r a v i l o l i j e v e r u k e služi za određivanje smjera sile kojom magnetsko polje djeluje na vodič. Ono glasi: Postavimo dlan lijeve ruke tako da silnice ulaze u dlan, a prsti da pokazuju u smjeru struje kroz vodič; tada odbočeni palac pokazuje smjer sile kojom magnetsko polje djeluje na vodič.



Pravilo desne ruke služi za određivanje smjera inducirane elektromotorne sile. Ono glasi: Postavimo desnu ruku tako da silnice ulaze u njezin dlan, a palac da pokazuje smjer gibanja, pa će nam prsti pokazivati smjer inducirane elektromotorne sile.

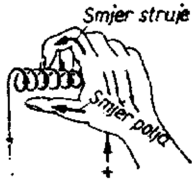
1.31. Pravila desne ruke za određivanje smjera magnetskog polja

a) Za ravan vodič:



Obuhvatimo vodič tako da palac pokazuje u smjeru struje; tada prsti naznačuju smjer magnetskog polja.

b) Za svitak:



Obuhvatimo svitak tako da prsti naznačuju smjer struje; tada palac pokazuje smjer magnetskog polja.

1.32. Zakon magnetske uzbude (magnetskog kruga)

$$F_m = NI = \Sigma H_n l_n \qquad [F_m/\text{A},\ N/1,\ I/\text{A},\ H/(\text{A/m}),\ l/\text{m}]^*$$

odavle:

$$\Phi = \frac{F_m}{R_m} = \frac{F_m}{\Sigma \dfrac{l_n}{\mu_n S_n}} \qquad [\Phi/\text{Wb},\ F_m/\text{A},\ R_m/(\text{A/Wb}),\ l/\text{m},\ \mu/(\text{H/m}),\ S/\text{m}^2]^*$$

F_m - magnetomotorna sila, N - broj zavoja, I - struja kroz zavoje, H - jakost magnetskog polja, l_n - duljina n-tog dijela magn. kruga, R_m - magn. otpor, S_n - presjek n-tog dijela magn. kruga, μ_n - permeabilnost n-tog dijela magn. kruga.

---

* Način pisanja prema jednadžbi (3) na strani 48.

1.33. Nosivost magneta (istosmjerne struje)

$$F = \left(\frac{B}{5000}\right)^2 S \qquad [\text{kp, G, cm}]$$

$$F = \frac{B^2 S}{2\mu_0} \qquad [\text{N, T, m, H/m}]$$

F - privlačna sila magneta, B - magn. indukcija, S - presjek magneta, μ_0 - magnetska konstanta (permeabilnost vakuuma). (Obično se postiže oko 2 kp/cm² kod sivog lijeva i oko 10 kp/cm² kod čelika.)

1.34. Kapacitet pločastog kondenzatora

$$C = \varepsilon \frac{A}{d} = \varepsilon_r \varepsilon_0 \frac{A}{d} \qquad [\text{F, F/m, m}^2\text{, m}]$$

C - kapacitet, ε - permitivnost (dielektričnost), ε_r - relativna permitivnost, ε_0 - električna konstanta: $\varepsilon_0 = 8{,}85 \cdot 10^{-6}$ F/m), A - jednostrana površina jedne ploče, d - razmak između ploča.

1.35. Naboj kondenzatora

$$Q = CU \qquad [\text{C, F, V}]$$

Q - naboj, C - kapacitet, U - napon.

1.36. Struja i snaga kondenzatora

$$I = U \cdot 2\pi f C \qquad [\text{A, V, Hz, F}]$$

$$Q = U^2 \cdot 2\pi f C \qquad [\text{var, V, Hz, F}]$$

I - struja, U - napon, f - frekvencija, C - kapacitet, Q - snaga.

1.37. Serijsko spajanje kondenzatora

$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} + \ldots$$

C - ukupni kapacitet serijskog spoja, C_1, C_2, $C_3 \ldots$ kapaciteti pojedinih kondenzatora.

1.38. Paralelno spajanje kondenzatora

$$C = C_1 + C_2 + C_3 + \ldots \qquad \text{(Oznake kao u 1.37.)}$$

2. Električki strojevi i transformatori

2.1. Brzina vrtnje

$$n_s = \frac{60f}{p} \text{ za sinhrone strojeve i općenito sinhrona brzina vrtnje}$$

$$n = \frac{60f}{p}(1 - s) \quad \text{za indukcione (asinhrone) strojeve}$$

n_s - sinhrona brzina vrtnje [okr/min], f - frekvencija [Hz], p - broj pari polova, n - brzina vrtnje indukcionog (asinhronog) motora [okr/min], klizanje $s = \frac{\omega_1 - \omega_2}{\omega_1}$. ω_1 - kutna brzina rotacionog polja, ω_2 - kutna brzina rotora

2.2. Zakretni moment (moment vrtnje)

$$T = 974\frac{P}{n} \qquad \text{[kpm, kW, okr/min]}$$

$$T = 0{,}55\frac{P}{n} \qquad \text{[Nm, W, okr/min]}$$

T - zakretni moment, P - snaga motora na osovini, n - brzina vrtnje.

2.3. Struja elektromotora

a) Za istosmjerne motore:

$$I = \frac{P}{U\eta} \qquad \text{[A, W, V, 1]}$$

b) Za jednofazne izmjenične motore

$$I = \frac{P}{U\cos\varphi \cdot \eta} \qquad \text{[A, W, V, 1]}$$

c) Za trofazne motore:

$$I = \frac{P}{\sqrt{3}\,U\cos\varphi \cdot \eta} \qquad \text{[A, W, V, 1]}$$

I - struja elektromotora, P - snaga elektromotora (to je uvijek snaga koju motor daje na osovini!), U - narinuti napon, η - korisnost (stupanj djelovanja).

2.4. Prividni otpor (impedancija) trofaznih generatora i transformatora

$$Z = \frac{10\, u_k\, U_n^2}{S_n} \qquad [\Omega,\ \%,\ kV,\ kVA]$$

Z - prividni otpor generatora odn. transformatora, u_k - napon kratkog spoja, U_n - (linijski) nazivni napon, S_n - nazivna (prividna) snaga. (Kod transformatora se za U_n - može uvrstiti primarni ili sekundarni nazivni napon, već prema tome na koji napon hoćemo otpor svesti.)

2.5. Djelatni otpor trofaznih transformatora

$$R = \frac{p_k}{3\, I_n^2}; \qquad u_r = \frac{p_k}{S_n} \cdot 100 \qquad [\Omega,\ kW,\ A,\ \%,\ kVA]$$

R - djelatni otpor, p_k - gubici u bakru (gubici kratkog spoja), I_n - nazivna struja, u_r - djelatna komponenta napona kratkog spoja (u %), S_n - nazivna snaga.

2.6. Induktivni otpor trofaznih transformatora

$$u_x = \sqrt{u_k^2 - u_r^2}\ [\%,\%,\%]; \qquad X = \frac{10\, u_x\, U_n^2}{P_n} \qquad [\Omega,\ \%,\ kV,\ kVA]$$

u_x - jalova komponenta napona kratkog spoja, u_k - napon kratkog spoja, X - jalovi otpor, U_n - (linijski) nazivni napon, S_n - nazivna snaga.

2.7. Pad (promjena) napona transformatora kod opterećenja

a) Za $u_k \leq 4\%: u = \frac{S}{S_n}(u_r \cos\varphi + u_x \sin\varphi)$ $\qquad [\%,\ kVA,\ kVA,\ \%]$

b) Za $u_k > 4\%: u = \frac{S}{S_n}(u_r \cos\varphi + u_x \sin\varphi) + \frac{1}{200}\frac{S}{S_n}(u_x \cos\varphi - u_r \sin\varphi)^2$

u - procentualni pad (promjena) napona, S - opterećenje transformatora (prividna snaga!), S_n - nazivna snaga transformatora, u_r, u_x - procentualna djelatna odn. jalova komponenta napona kratkog spoja.

2.8. Raspodjela opterećenja kod paralelnog rada transformatora s nejednakim naponom kratkog spoja

P r i m j e r : 1. transformator $S_{n_1} = 150\ kVA$, $u_{k_1} = 3{,}5\ \%$

2. „ $S_{n_2} = 100\ kVA$, $u_{k_2} = 4{,}5\ \%$

3. „ $S_{n_3} = 50\ kVA$, $u_{k_3} = 3\ \%$

$$\frac{\Sigma S_n}{u_k} = \frac{S_{n_1}}{u_{k_1}} + \frac{S_{n_2}}{u_{k_2}} + \frac{S_{n_3}}{u_{k_3}}; \quad \frac{300}{u_k} = \frac{50}{3} + \frac{100}{4,5} + \frac{150}{3,5}$$

(u_k — rezultantni napon kratkog spoja).

Odavle

$$u_k = \frac{300}{16,7 + 22,2 + 42,9} = \frac{300}{81,8} = 3,67\,\%$$

Raspodjela opterećenja kod ukupnog opterećenja $S = 270$ kVA:

$$S_1 = \frac{\Sigma S_n}{S} \cdot S_{n_1} \cdot \frac{u_k}{u_{k_1}} = \frac{270}{300} \cdot 150 \cdot \frac{3,67}{3,5} = 141\,\text{kVA}$$

Analogno:

$$S_2 = 73\,\text{kVA},\; S_3 = 55\,\text{kVA};\; S_1 + S_2 + S_3 = 270\,\text{kVA}$$

Kod potpunog opterećenja (300 kVA) razdioba bi bila:

$$S_1 = 157\,\text{kVA},\; S_2 = 81,5\,\text{kVA};\; S_3 = 61\,\text{kVA}$$

Što je napon kratkog spoja transformatora manji, to transformator preuzima razmjerno veće opterećenje. Osobito je nepovoljno ako od dva transformatora koji rade paralelno manji transformator ima manji napon kratkog spoja.

2.9. Struja izjednačenja pri paralelnom radu dvaju transformatora nejednakog prenosnog omjera

$$I_{izj.} = \frac{(k_1 - k_2)\,U}{\sqrt{(R_1 + R_2)^2 + (X_1 + X_2)^2}} \quad [\text{A, V, } \Omega]$$

I_{izj} - struja izjednačenja, k_1, k_2 - prenosni omjeri transformatora, U - narinuti (linijski) napon, R_1, R_2 i X_1, X_2 - djelatni odn. induktivni otpori transformatora.

2.10. Korisnost (stupanj djelovanja) transformatora

a) Kod potpunog opterećenja

$$\eta = 100 - \frac{p_k + p_0}{S_n \cos\varphi + p_k + p_0}$$

b) Kod opterećenja n % od S_n

$$\eta = 100 - \frac{\left(\frac{n}{100}\right)^2 p_k + p_0}{\frac{n}{100} S_n \cos\varphi + \left(\frac{n}{100}\right)^2 p_k + p_0}$$

η - korisnost u %, p_k - gubici kratkog spoja (gubici u bakru) u kW, p_0 - gubici praznog hoda (gubici u željezu) u kW, S_n - nazivna snaga transformatora u kVA.

N a p r i m j e r :

$$S_n = 250\,\text{kVA}, \quad p_k = 6{,}25\,\text{kW}, \quad p_0 = 1{,}70\,\text{kW}$$

Kod 100% opterećenja i $\cos\varphi = 1$:

$$\eta = 100 - \frac{6{,}25 + 1{,}70}{250 + 6{,}25 + 1{,}70} = 96{,}9\,\%$$

Kod 10% opterećenja i $\cos\varphi = 0{,}7$:

$$\eta = 100 - \frac{0{,}1^2 \cdot 6{,}25 + 1{,}70}{0{,}10 \cdot 250 \cdot 0{,}7 + 0{,}1^2 \cdot 6{,}25 + 1{,}70} = 90{,}8\,\%$$

2.11. Gubici u željezu

a) G u b i c i h i s t e r e z e

Kod $B = 0{,}6$ do 1 T (6000 do 10 000 G)

$$p_h = k_1 B_m^{1,6} f \qquad [\text{W/kg, T, Hz}]$$

Kod $B = 1$ do 1,6 T (10000 do 16000 G)

$$p_v = k_v B_m^2 f \qquad [\text{W/kg, T, Hz}]$$

b) G u b i c i v r t l o ž n i h s t r u j a

$$p_v = k_v B_m^2 f^2 \qquad [\text{W/kg, T, Hz}]$$

c) U k u p n i g u b i c i u ž e l j e z u

$$p = p_h + p_v$$

B_m - magnetska indukcija (tjemena vrijednost), k_1, k_2, k_v - koeficijenti koji ovise o vrsti i debljini lima, f - frekvencija.

Podatke o gubicima u željezu vidi u 98a (str. 188).

36

3. K a r a k t e r i s t i č n e v e l i č i n e v o d o v a

3.1. Omski otpor nadzemnih vodova i kabela

a) Nadzemni vod s bakrenim vodičima

$$r_\vartheta = \frac{16{,}5 + 0{,}07\,\vartheta}{S} \qquad [\Omega/\text{km}, {}^\circ\text{C}, \text{mm}^2]$$

b) Nadzemni vod s aluminijskim vodičima

$$r_\vartheta = \frac{26{,}5 + 0{,}115\,\vartheta}{S} \qquad [\Omega/\text{km},\ ^\circ\text{C},\ \text{mm}^2]$$

ϑ - temperatura vodiča, S - stvarni (ne nazivni!) presjek vodiča. Podatke o omskom otporu vidi u tablicama 197, 198, 199, 201 i 202.

Kabel ima omski otpor 1,5 do 2% manji.

Djelatni otpor (tj. otpor za izmjeničnu struju) nešto je veći (zbog skin-efekta, gubitaka u stezaljkama i nosačima te zbog korone) od omskog otpora, ali se to u praksi obično ne uzima u obzir (osim za koronu s kojom međutim treba računati samo ako je promjer razmjerno malen s obzirom na maksimalni napon voda).

3.2. Induktivitet i induktivni otpor nadzemnih vodova i kabela

Za vodiče od magnetičkih materijala:

$$L_0 = \left(4{,}6 \lg \frac{b_{sr}}{r} + 0{,}5\right) \cdot 10^{-4} \qquad [\text{H/km, cm, cm}]^*$$

$$x_L = 2\pi f \left(4{,}6 \lg \frac{b_{sr}}{r} + 0{,}5\right) \cdot 10^{-4} \qquad [\Omega/\text{km, Hz, cm, cm}]$$

Za $f = 50$ Hz:

$$x_L = 0{,}1445 \lg \frac{b_{sr}}{r} + 0{,}0157 \qquad [\Omega/\text{km, cm, cm}]^*$$

L_0 - pogonski induktivitet voda po jedinici duljine i fazi, x_L - induktivni otpor voda po jedinici duljine, r - polumjer vodiča, b_{sr} - srednji geometrijski razmak osi vodiča, tj.

$$b_{sr} = \sqrt[3]{b_{12} \cdot b_{23} \cdot b_{31}}$$

gdje su b_{12}, b_{23}, b_{31} razmaci između pojedinih vodiča.
Vrijednosti induktivnog otpora nadzemnih vodova vidi u 256.

3.3. Pogonski kapacitet nadzemnih vodova

$$C_0 = \frac{0{,}02415}{\lg \frac{b_{sr}}{r}} \cdot 10^{-6} \qquad [\text{F/km, cm, cm}]^*$$

C_0 - pogonski kapacitet po jedinici duljine. b_{sr}, r - kao u 3.2.
Pogonski kapacitet može se odrediti pomoću dijagrama u 256.

* Ove formule vrijede kod nadzemnih vodova u stvari samo za jednostruke vodove. No pomoću njih se uglavnom dovoljno približno može računati i kod dvostrukih vodova. Pogreška koja se na taj način čini manja je većinom od 5%. Induktivitet i induktivni otpor dvostrukih vodova uglavnom su za 1,5 do 5% veći, a pogonski kapacitet i kapacitivni provod uglavnom su za 1,5 do 5% manji nego kod jednostrukih vodova. (Vidi korekturne faktore u tablici [illegible] — tačka 4, primjedba 5 (str. [illegible]).

3.4. Pogonski kapacitet kabela

Kod jednožilnih kabela za jednofaznu i trofaznu struju te kod trofaznih *H* - kabela (s metaliziranim žilama) i kabela s 3 olovna plašta:

$$C_0 = \frac{0{,}0241\,\varepsilon_r}{\lg \dfrac{D}{d}} \cdot 10^{-6} \qquad [\text{F/km, 1, mm}]$$

Kod dvožilnih kabela, isprepletenih, za jednofaznu struju:

$$C_0 = \frac{0{,}0241\,\varepsilon_r}{\lg \left[\dfrac{2\,b_{sr}}{d} \cdot \dfrac{D^2 - b^2_{sr}}{D^2 - d^2}\right]} \cdot 10^{-6} \qquad [\text{F/km, 1, mm})$$

Kod trofaznih trožilnih kabela:

$$C_0 = \frac{0{,}048\,\varepsilon_r}{\lg \left[\dfrac{b^2_{sr}}{r^2} \cdot \dfrac{(3\,R^2 - b^2_{sr})^3}{27\,R^6 - b_{sr}^6}\right]} \cdot 10^{-6} \qquad [\text{F/km, 1, mm})$$

C_0, b_{sr}, r - kao u 3.3, ε_r - relativna permitivnost (dielektričnost) izolacije kabela (obično $\varepsilon_r = 3$ do 4), D - unutarnji promjer olovnog plašta, a kod *H* - kabela unutarnji promjer metalnog obloga, d - promjer vodiča.

3.5. Kapacitivni provod, struja nabijanja i snaga nabijanja nadzemnih vodova i kabela

$$y_C = 2\,\pi\,f\,C_0 \qquad [\text{S/km, Hz, F/km}]$$

$$I_{C0} = \frac{U}{\sqrt{3}}\,y_C \qquad [\text{A/km, V, S/km}]$$

$$Q_{C0} = \sqrt{3}\;U I_{C0} = U^2 y_C \qquad [\text{var/km, V, A/km, S/km}]$$

C_0 - kao kod 3.3 i 3.4, y_C - kapacitivni provod po jedinici duljine voda, I_{C0} - struja nabijanja (kapacitivna struja) po jedinici duljine voda, U - linijski napon voda, Q_C - snaga nabijanja (kapacitivna jalova snaga) po jedinici duljine voda.

3.6. Dozemni kapacitet i struja zemljospoja nadzemnih vodova

Formule za dozemni kapacitet C_z dosta su složene pa se dozemni kapacitet može odrediti pomoću dijagrama 256.

Za struju zemljospoja vrijedi formula:

$$I_{z0} = \sqrt{3}\,U \cdot 2\pi f \cdot C_{z0} \cdot 10^{-6} \qquad [\text{A/km, kV, Hz, nF/km}]$$

Za $f = 50$ Hz:

$$I_{z0} = 0{,}54\,U C_{z0} \cdot 10^{-3} \qquad [\text{A/km, kV, nF/km}]$$

3.7. Valni otpor i prirodna snaga

Valni otpor $Z_o = \sqrt{\frac{L_0}{C_0}}$ [Ω/km, H/km, F/km]

Prirodna snaga $P_p = U^2/Z_o$ [MW, kV, Ω/km]

3.8. Grube približne vrijednosti za karakteristične veličine nadzemnih vodova

Djelatni (omski) otpor za Cu-vodiče:	$r_0 = 18$ Ω/km i mm²
Djelatni (omski) otpor za Al-vodiče:	$r_0 = 29$ Ω/km i mm²
Induktivni otpor	$x_0 = 0{,}4$ Ω/km
Struja nabijanja:	$I_{c0} = 0{,}16$ A/kV i 100 km
Struja zemljospoja:	$I_{z} = 0{,}25$ A/kV i 100 km
Valni otpor nadzemnih vodova	$z = 380$ Ω

37

4. Proračun pada napona i presjeka vodiča

4.1. Definicija pada napona

Pad napona: $u = U_1 - U_2$ [V]

Relativni pad napona: $u_r = \frac{u}{U_2}$ [1, V, V]

Pad napona u postocima: $u_r = \frac{100\,u}{U_2}$ [%, V, V]

U_1 - napon na početku voda, U_2 - napon na kraju voda.

4.2. Pad napona kod kućnih instalacija (izolirani vodiči)

Vrst struje	Poznata je struja I u amperima		Poznata je snaga P u vatima
Istosmjerna struja	$u = IR$	$u = \frac{2\,l\,I}{\gamma\,S}$	$u = \frac{2\,l\,P}{\gamma S U}$
Jednofazna izmjenična struja	$u = IR\cos\varphi$	$u = \frac{2\,l\,I\cos\varphi}{\gamma\,S}$	$u = \frac{2\,l\,P}{\gamma S U}$
Trofazna struja	$u = \sqrt{3}\,IR\cos\varphi$	$u = \frac{\sqrt{3}\,l\,I\cos\varphi}{\gamma\,S}$	$u = \frac{l\,P}{\gamma S U}$

u - pad napona u V, I - struja u A, R - otpor vodiča u Ω, l - duljina voda u m, γ - vodljivost u Sm/mm² (za bakar $\gamma = 56$, za aluminij $\gamma = 34$), S - presjek vodiča u mm², P - snaga u vatima, U - nazivni napon u voltima.

Kod nekoliko trošila odnosno odvojaka duž voda treba u navedene formule umjesto lI uvrstiti $\Sigma(lI)$, a umjesto lP treba staviti $\Sigma(lP)$. Ako je opterećenje jednoliko raspodijeljeno na nekoj dužini l' duž voda, treba računati kao da je cjelokupno opterećenje koncentrirano u polovini te dužine (u »težištu« opterećenja).

4.3. Proračun presjeka vodiča kod kućnih instalacija (izolirani vodovi)

Vrst struje	Poznata je struja I u amperima	Poznata je snaga P u vatima
Istosmjerna struja	$S = \frac{2lI}{\gamma u}$	$S = \frac{2lP}{\gamma u U}$
Jednofazna izmjenična struja	$S = \frac{2lI\cos\varphi}{\gamma u}$	$S = \frac{2lP}{\gamma u U}$
Trofazna struja	$S = \frac{\sqrt{3}\,lI\cos\varphi}{\gamma u}$	$S = \frac{lP}{\gamma u U}$

Oznake i jedinice kao u 4.2. Kod nekoliko **trošila odnosno odvojaka** duž voda odn. kod jednoliko raspodijeljenog opterećenja postupa se jednako kao u 4.2.

Kad se izračuna presjek s obzirom na pad napona, treba provjeriti da li je on dovoljan s obzirom na najmanji dozvoljeni presjek općenito te s obzirom na ugrijavanje posebno (vidi 314 i 322).

V i d i i n o m o g r a m e u 326.

4.4. Pad napona kod vodova s induktivitetom

Kod trofaznih motora vrijedi približno:

$$u = \sqrt{3}\; I l (r\cos\varphi + x\sin\varphi) \qquad [\text{V, A, km, }\Omega/\text{km}, \Omega/\text{km}]$$

$$u_r = \frac{P_s l}{10\,U^2}(r\cos\varphi + x\sin\varphi) \qquad [\%, \text{kVA, km, kV, }\Omega/\text{km}, \Omega/\text{km}]$$

ili

$$u_r = \frac{P l}{10\,U^2}(r + x\,\text{tg}\,\varphi) \qquad [\%, \text{kW, km, kV, }\Omega/\text{km}, \Omega/\text{km}]$$

u - pad napona, u_r - relativni pad napona, I - struja, l - duljina voda, r, x - djelatni odn. induktivni otpor voda po jedinici duljine, P, P_s - opterećenje voda, U - napon pojne točke (linijski!).

V i d i i n o m o g r a m e u 258. do 261.

4.5. Proračun presjeka vodiča s obzirom na gubitak snage

a) Z a j e d n o f a z n u s t r u j u :

$$p_r = \frac{200\,lP}{\gamma S U^2 \cos^2\varphi} \qquad \begin{cases}[\%, \text{km, kW, Sm/mm}^2, \text{mm}^2, \text{kV}]\\ [\%, \text{m, W, Sm/mm}^2, \text{mm}^2, \text{V}]\end{cases}$$

$$S = \frac{200\,lP}{\gamma p_r U^2 \cos^2\varphi} \qquad \begin{cases}[\text{mm}^2, \text{km, kW, Sm/mm}^2, \%, \text{kV}]\\ [\text{mm}^2, \text{m, W, Sm/mm}^2, \%, \text{V}]\end{cases}$$

b) Z a t r o f a z n u s t r u j u :

$$p_r = \frac{100\,lP}{\gamma S U^2 \cos^2\varphi} \qquad S = \frac{100\,lP}{\gamma p_r U^2 \cos^2\varphi}$$

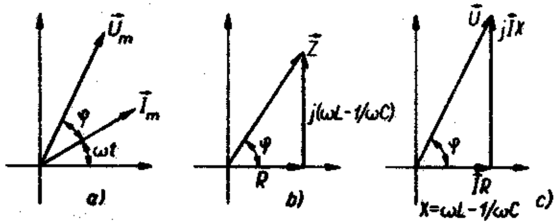
(Jedinice kao kod a) (Jedinice kao kod a)

V i d i i n o m o g r a m e u 258. do 261.

38

5. Simbolički račun, kazaljke

Izmjenične električke veličine mogu se predočiti kazaljkama (verzorima, kompleksorima). Na primjer struja $i = I_m \sin \omega t$ i napon $u = U_m \sin(\omega t + \varphi)$ predočuju se sa dvije kazaljke, prema slici *a*. Jednu kazaljku možemo sasvim proizvoljno predočiti u ravnini. Važno je jedino da se vremenski pravac



okreće određenom kutnom brzinom, tj. u jednoj ravnini mogu se istovremeno predočiti samo izmjenične veličine iste frekvencije. Prema tome, kakogod nacrtali kazaljku $\vec{I}_m$ na slici *a* (a to znači u kojem god trenutku), kazaljka $\vec{U}_m$ mora prethoditi za kut φ. Obično se stoga jedna od ovih kazaljki predočuje u horizontalnoj osi.

Svaka se kazaljka može (prema 4/11, str. 26) predočiti kompleksnim brojem kao svojim simbolom, i to u polarnim koordinatama u komponentnom obliku ili, prema Eulerovoj formuli, u eksponencijalnom obliku. Na primjer:

$$\vec{U}_m = U_m \cos(\omega t + \varphi) + j\, U_m \sin(\omega t + \varphi) = U_m e^{(j\omega t + \varphi)} = U_m \exp[j(\omega t + \varphi)]$$

$U_m \cos(\omega t + \varphi)$ je realna, a $jU_m \sin(\omega t + \varphi)$ imaginarna komponenta kazaljke $\vec{U}_m$. Obično se uzima $t = 0$ (jer je svejedno u kojem trenutku promatramo vremensku pojavu.)

Imaginarnu jedinicu $j = \sqrt{-1}$ možemo shvatiti kao operator koji kazaljku zakreće za $+90^0$ (u matematički pozitivnom smislu). Tada $j^2 = j \cdot j = -1$ zakreće kazaljku za $2 \times (+90) = +180^0$, $j^3 = j \cdot j \cdot j = -j$ za $+270^0$ ili -90^0; $j^4 = 1$ zakreće kazaljku za 360^0, tj. kao da je ostavlja nepomaknutu itd. Često se za izraz $\exp(j \cdot 120)$ upotrebljava oznaka a. Ona je prema tome operator koji kazaljku zakreće za $+120^0$. Tada $a^2 = a \cdot a$ znači zakret za $+240^0$, a^3 za $+360^0$, $-a$ za -120^0 itd.

Ne samo izmjenične veličine (napon, struja, snaga) već i otporne veličine, tj. djelatni i jalovi (induktivni ili kapacitivni) otpori mogu se predočiti kompleksnim brojevima kao svojim simbolima. Budući da otporne veličine nisu kazaljke, jer nisu vremenski promjenljive, njihovi se simboli nazivaju i nepravim ili lažnim simbolima. Djelatni otpor, koji uzrokuje pad napona u fazi sa strujom, prikazuje se realnim brojem R, induktivni otpor, koji uzrokuje pad napona koji prethodi struji za $+90^0$, množimo stoga sa j u simboličkom prikazu: $j\omega L$; iz istog razloga množimo kapacitivni otpor s $-j$, tj. $-j/\omega C$. Prividni otpor jednak je sumi svih tih otpora

$$\vec{Z} = R + j\omega L - j/\omega C = R + j(\omega L - 1/\omega C)$$

Eksponencijalni oblik ove jednadžbe:

$$Z = Ze^{j\varphi} - Z\exp(j\varphi), \text{ gdje je } Z = \sqrt{R^2 + (\omega L - 1/\omega C)^2}\ , \ \varphi = \text{arctg}\,\frac{\omega L - 1/\omega C}{R}$$

Struja $\vec{I}$ stvara u otporu $\vec{Z}$ pad napona

$$\vec{U} = \vec{I}\vec{Z} = \vec{I}\,[R + j(\omega L - 1/\omega C)] = \vec{I}Z\exp(j\varphi)$$

Na slici *b* prikazane su otporne veličine, a na slici c pripadni padovi napona na djelatnom i jalovom otporu koji zajedno daju napon na stezaljkama otpora.

Simboli se mogu grafički i analitički zbrajati i odbijati kao vektori. Kad se množi treba, međutim, paziti. Nepravi simboli međusobno i nepravi simboli s pravim simbolima mogu se množiti uvijek po pravilima računanja s kompleksnim brojevima, ali množenje simbola za struju i napon ne daje ispravan izraz za snagu, ako jednoj kazaljci, npr. kazaljci struje, ne pripišemo konjugirano kompleksni broj:

$$\vec{U}\vec{I} = U\exp(j\alpha) \cdot I\exp(-j\beta) = UI\exp(\alpha - \beta)$$

Ako označimo $\alpha - \beta = \gamma$, a to je kut između kazaljke struje i kazaljke napona, i napišemo gornju jednadžbu u komponentnom obliku, dobijemo:

$$\vec{U}\vec{I} = \vec{S} = UI\cos\varphi - j\,UI\sin\varphi = P - jQ$$

(S - prividna snaga, P - djelatna snaga, Q - jalova snaga).

6. Metoda simetričnih komponenata

Svaki se nesimetrični trofazni sistem dade rastaviti na svoje 3 »simetrične komponente«: a) simetrični pozitivni trofazni sistem, tj. s pozitivnim slijedom kazaljki (verzora), b) simetrični negativni trofazni sistem, c) sufazni (jednofazni) sistem. To se može učiniti analitički i grafički.

6.1. Analitički postupak

Neka su A_R, A_S, A_T kazaljke nesimetričnog trofaznog sistema, tada se kazaljke simetričnih komponenata dobiju iz formula:

pozitivni sistem: $A_{1R} = 1/3\,(A_R + aA_S + a^2A_T)$ (1)

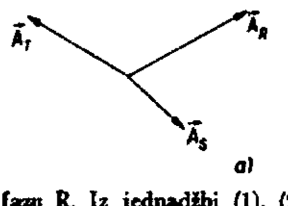
negativni sistem: $A_{2R} = 1/3\,(A_R + a^2A_S + aA_T)$ (2)

sufazni sistem: $A_0 = 1/3\,(A_R + A_S + A_T)$ (3)

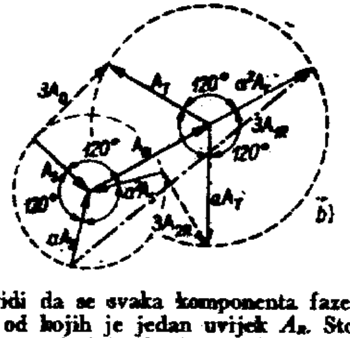
gdje je a operator naveden pod 5.

6.2. Grafički postupak

Osniva se na jednadžbama (1), (2) i (3). Na slici a) prikazan je nesimetrični sistem A_R, A_S, A_T, a na slici b) konstrukcija simetričnih komponenata



a)



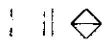
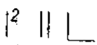
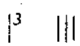
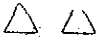
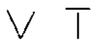
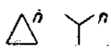
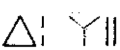
b)

za fazu R. Iz jednadžbi (1), (2), (3) se vidi da se svaka komponenta faze R sastoji od tri vektorska (verzorska) člana od kojih je jedan uvijek A_R. Stoga najprije nacrtamo kazaljku (verzor) A_R, a na njezinim krajevima kazaljke A_S i A_T. Vektorski zbroj $A_S + A_R + A_T$ daje, prema (3), $3A_0$. Zatim pomoću šestara konstruiramo kazaljke aA_S i a^2A_S te aA_T i a^2A_T koje su prema A_S odnosno A_T pomaknute za 120°, odnosno 240°. Tada pomoću (1) i (2) lako odredimo grafički $3A_{1R}$ i $3A_{2R}$.

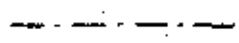
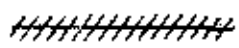
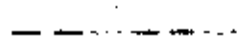
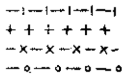
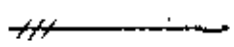
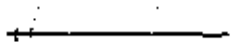
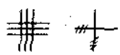
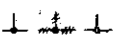
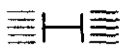
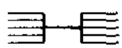
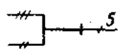
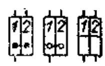
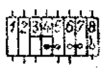
40

Grafički simboli

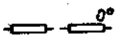
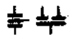
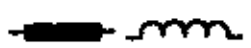
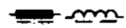
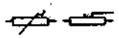
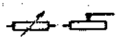
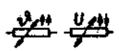
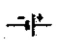
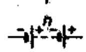
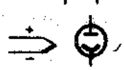
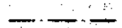
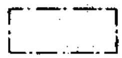
Vrste struje i vrste spoja

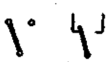
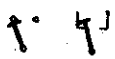
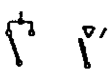
Simbol	Naziv
—	Istosmjerna struja općenito
2 —	Istosmjerna struja s 2 vodiča
2/0 —	Istosmjerna struja s 2 vodiča i središnjim vodičem
~	Izmjenična struja, općenito
1 ~ 16 2/3	Jednofazna struja 16 2/3 Hz
3 ~ 50	Trofazna struja 50 Hz
3/0 ~ 50	Trofazna struja s nulvodičem 50 Hz
$\overline{\sim}$	Istosmjerna ili izmjenična struja
	1) Serijski spoj, 2) paralelni spoj, 3) mosni spoj
	1) Jednofazni spoj, j. sp. s pomoćnom fazom
	1) i 2) Dvofazni spoj općenito ili otvoreni dvofazni spoj
	1) i 2) Trofazni spoj općenito ili otvoreni trofazni spoj
	Trofazni spoj: 1) u trokut 2) u otvoreni trokut
	Trofaz. spoj: 1) u zvijezdu, 2) u zvijezdu s izvedenim zvjezdištem, 3) cikcak
	V-spoj, T-spoj (Scottov spoj)
	Šesterofazni spoj: 1) u dvostruki trokut, 2) u šestorokut, 3) u zvijezdu
	n-fazni spoj općenito ili otvoreni n-fazni spoj
	n-fazni spoj: 1) u n-kut, 2) u zvijezdu
	Preklapanje zvijezda-trokut
	Preklapanje trokut-zvijezda (Dahlanderov spoj): Trokut: polovine faznih namota u serijskom spoju; zvijezda: polovine faznih namota u paralelnom spoju

Vodovi i spojevi vodova

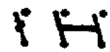
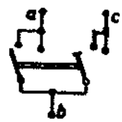
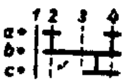
Simbol	Naziv
	Vod (ili vodič) općenito, posebno: izgrađeni vod
	Isto (ako je potrebno razlikovati vodove)
	Vod u gradnji
	Planirani vod
	Vod koji se polaže po izboru ili naknadno
	Zaštitni vodič (uzemljenje, nulovanje, zašt. spoj)
	Tuđi vod
	Pozivni vod ili vod za zvonce
	Telefonski vod
	Vod za radio ili televiziju
	Daljnje oznake vodova koje se po potrebi mogu upotrijebiti
	Oznaka broja vodiča (npr. 3 vodiča)
	Oznaka broja strujnih krugova
	Ukrštavanje bez spoja
	1) i 2) Oznaka spoja općenito, a posebno oznaka nerazriješivog spoja, 3) oznaka razrješivog spoja (npr. stezaljka)
	Skupljanje vodova radi jednostavnijeg prikaza
	Skupljeni vodovi koji se međusobno ne ukrštavaju
	Snop vodova, npr. 5 vodova ili mnogožilni vod ili kabel
	Isto, jednopolni prikaz
	Redne stezaljke, npr. prve 3 stezaljke u nizu
	Redne stezaljke: 1) sa krutim spojem, 2) sa razrješivim (preklopivim) spojem, 3) rastavne redne stezaljke
	Primjer niza rednih stezaljki

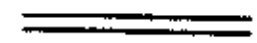
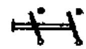
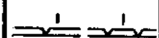
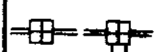
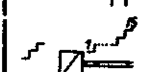
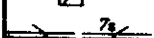
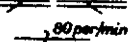
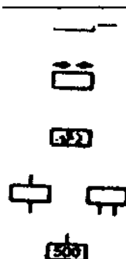
Grafički simboli (nastavak)

Simbol	Naziv
	Elementi
	1) Omski otpor i otpornik općenito, 2) čisti omski otpor
	Omski otpornik s odvojcima
	1) Kapacitivni otpor i kondenzator općenito, 2) čisti kapacitivni otpor
	Kapacitivni otpor s odvojcima
	Induktivni otpor i prigušnica općenito (za oznaku čistog ind. otpora dodaj: 90°)
	Indukt. otpor odn. prigušnica s odvojcima
	Prigušnica bez željeza
	Prigušnica sa željeznom jezgrom
	Isto ali s rasporom
	Prividni otpor
	Trajni magnet: 1) općenito, 2) s oznakom polarnosti
	Mogućnost: 1) udešavanja, 2) stepenastog reguliranja, 3) neprekinutog reguliranja, 4) automatskog stepenastog reguliranja, 5) automatskog neprekinutog reguliranja
	Primjeri za regulaciju
	Otpornik reguliran u stepenima
	Otpornik s neprekinutom regulacijom
	Primjeri automatske regulacije: Otpor se mijenja: 1) u istom smislu s temperaturom, 2) u obrnutom smislu s naponom
	Neprekinuta (kontinuirana) regulacija: 1) kapaciteta, 2) induktiviteta
	Galvanski ili akumulatorski članak općenito, posebno baterija
	Baterija sa *n* članaka
	1) termopar, 2) fotoćelija
	1) Iskrište, 2) odvodnik prenapona, 3) uzemljenje, 4) preskok ili proboj
	Rastavna crta (između dva sklopna polja)
	Okvir koji označuje da sprave spadaju zajedno

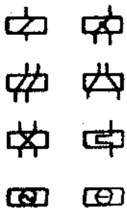
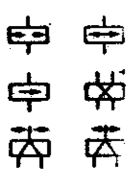
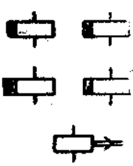
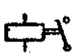
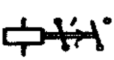
Simbol	Naziv
	Sklopni aparati
	Kontaktni dijelovi
	Kontakni dio, općenito: 1) s krutim spojem (npr. lemljenjem) 2) s razrješivim spojem (npr. stezaljka), 3) kontaktni dio za prolazni kontakt s krutim spojem, 4) isto s razrješivim spojem, 5) fiksni kontaktni dio rastavljača odn. rastavne latice
	Fiksni ili posredno pokretani kontaktni dio
	Simboli za naročito djelovanje kontaktnih dijelova:
	Daje kontakt u smjeru strelice
	Simboli za produljeno davanje kontakta (pa i za vremenski redoslijed manevara)
	Magnetsko puhanje (duvanje)
	Položaj bez spoja
	Pomični kontaktni dio: 1) bez priključka (npr. rastavna latica, 2) s krutim spojem (npr. lemljenjem), 3) s razrješivim spojem (npr. stezaljkom)
	Zatik utikača: 1) fiksan, 2) pomičan
	Čaura utičnice: 1) fiksna 2) pomična
	Pomični kontaktni dio s produljenim davanjem kontakta (pa i oznaka vremenskog redoslijeda manevara)
	Kliznici: 1) za regulaciju u stepenima, 2) za neprekinutu regulaciju, 3) za klizne prstenove, vozne vodove i sl.
	Sklopni organi
	Isklopni organ (isklopac)
	Uklopni organ (uklopac)
	Preklopni organ (preklopac) s prekidanjem
	Preklopni organ bez prekidanja
	1) Isklopni organ za kratkotrajno isklapanje 2) Uklopni organ za kratkotrajno uklapanje

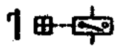
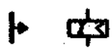
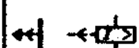
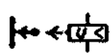
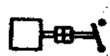
Grafički simboli (nastavak)

Simbol	Naziv
	Sklopni aparati (nastavak)
	Primjeri sklopnih organa
	Primjer dvopolnog uklopnog organa
	Primjer preklopnog organa s 3 položaja: 2 uklopna položaja i 1 isklopni položaj u sredini
	Primjer sklopnog organa sa 4 položaja
	Isto, drugi način prikazivanja
	Označivanje smjera kretanja i sklopnih položaja
	Kretanje ili zakretanje:
	1) udesno, 2) ulijevo
	1) U oba smjera, 2) u 4 smjera
	1)Kretanje odn. zakretanje sklopke po volji u oba smjera, 2) isto, s prikazom staze kretanja
	Staza kretanja prekinuta: 1) između položaja 2 i 3; 2) između položaja 4 i 1
	Prikaz kretanja samo u jednom smjeru: 1) Između svih položaja samo u smjeru kazaljke na satu, 2) između položaja 3 i 4 samo u označenom smjeru
	Zagonski organi
	Ručni zagon (strelica pokazuje smjer djelovanja)
	1)Nožni zagon, 2) zagon grebenom, graničnikom i sl.
	Zagon motorskom snagom (strelica pokazuje smjer djelovanja)
	1) Magnetni zagon, 2) motorni zagon
	1) Pneumatski zagon, 2) zagon oprugom

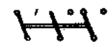
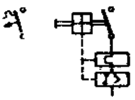
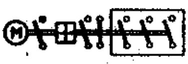
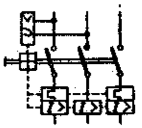
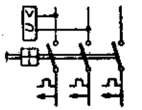
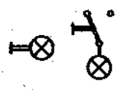
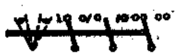
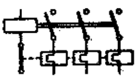
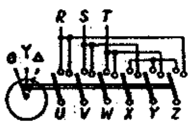
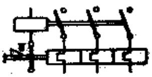
Simbol	Naziv
	Mehanički pomoćni elementi
	Meh. spoj dijelova prikazanih jedan uz drugi
	Isto za odjelito prikazane dijelove
	Isto, s oznakom smjera djelovanja
	Primjer sklopke s ručnim zagonom
	Uređaj za automatski povraćaj u smjeru strelice nakon prestanka pokretne sile
	1) Urez općenito, 2) zakračunato
	Kračun zahvata u urez: 1) pri gibanju udesno, 2) pri gibanju ulijevo i udesno
	1)Zapor općenito, 2) zapor prema povratu nakon pomaka udesno
	1)Zapiranje rukom, 2) razrješivanje zapora magnetski
	1) Blokada općenito, 2) u blokiranom položaju
	Mehanička veza (spoj, spojka): 1) jednostranim djelovanjem, 2) izvrstiva i izvrštena
	Isto: 1) izvrstiva, rukom uključena, 2) uključena, magnetom izvrstiva
	Sklopna brava: 1) općenito, 2) s pomoćnim okidačem
	Komanda korak po korak: 1)općenito, 2) magnetom u 15 koraka
	Usporena komanda: 1) udesno, 2) ulijevo usporenje 7 s
	Periodična komanda (npr. 80 na min.)
	Ručni zagon čepom ili ključem koji se mogu izvaditi: 1) općenito, 2) s oznakom položaja sklopke u kojem se mogu izvaditi
	Sklopnici, releji i okidači
	Pogonski sistem s automatskim povratom na nulu: 1) za 2 sklopna položaja, s prikazom mehan. veze 2) za 3 sklopna položaja, položaj u sredini 3) mjerni, s oznakom mjerene veličine, npr. temperature 4) elektromehanički 5) s oznakom omsk. otpora

Grafički simboli (nastavak)

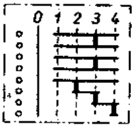
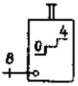
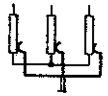
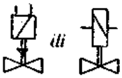
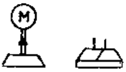
Simbol	Naziv
	Sklopni aparati (nastavak)
	**Sklopnici, releji i okidači** Elektromeh. pogonski sistem 1) s jednim aktivnim namotom; 2) isto, s odvojkom, 3) s dva namota koji djeluju u istom smjeru; 4) s dva namota koji djeluju u suprotnim smjerovima; 5) s vatmetričkim djelovanjem; 6) elektrotermički; 7) s motorom izmjenične struje; 8) s motorom istosmjerne struje
	Elektromeh. pogonski sistem: 1) polariziran, za 3 položaja, osnovni položaj u sredini, s autom. povratom; 2) isto, ali za 2 položaja i bez autom. povrata; 3) polariziran za dva pol., djeluje samo u jednom smjeru, sa autom. povratom; 4) vatmetrički, usmjereni, sa autom. povratom; 5) s po jednim sistemom za svaki smjer djelovanja, za 3 položaja, osnovni položaj u sredini, s autom. povratom; 6) isto, ali za 2 pol. i bez autom. povrata, djeluje samo u jednom smjeru
	Prikaz usporenja za elektromehaničke pogonske sisteme: 1) s magnetskim usporenjem pri otpuštanju; 2) s magn. usporenjem pri privlačenju; 3) s magn. usporenjem pri otpuštanju i privlačenju; 4) s elektrotermičkim usporenjem; 5) s mehaničkim usporenjem pri komandi udesno
	Primjeri sklopnika i releja
	Sklopnik ili relej s el. meh. pogonom, s uklopcem
	Isto, ali s isklopcem i magnet. usporenjem pri otpuštanju
	Isto s neusporenim isklopcem i usporenim uklopcem
	Sklopnik ili relej polariziran, za 3 položaja, osnovnim položajem u sredini, s autom. povratom
	S. ili r. s po jednim sistemom za svaki smjer djelovanja, za 2 položaja, bez autom. povrata
	Mjerni, elmehanički aktiviran relej s uklopcem, npr. nadstrujni relej
	Mjerni, mehanički aktiviran relej s uklopcem, npr. nadbrzinski relej

Simbol	Naziv
	Okidači (lijevo skraćeni simbol, desno simbol)
	Okidač na radnu struju sa sklopnom bravom
	Okidač na mirnu struju
	Nadstrujni okidač, naročito elektromagnetski
	Podstrujni okidač
	Okidač na povratnu struju
	Prenaponski okidač
	Podnaponski okidač
	Okidač na napon greške
	Nadstrujni okidač s vremenskim usporenjem
	Podnaponski okidač s vremenskim usporenjem
	Elektrotermički nadstrujni okidač, npr. sa bimetalom
	Osnovne vrste sklopnih aparata
	1) Rastavna latica, 2) rastavljač, 3) sklopka općenito, naročito teretna sklopka, 4) teretni rastavljač
	1) Sklopka s ručicom i 5 položaja, s ručnim zagonom, 2) tipkalo
	Sklopka sa bravom, sa zagonom motorskom silom, sa uklopcem
	1) Učinska sklopka općenito, 2) učinski rastavljač, 3) sklopka za motor
	1) Osigurač, 2) rastavni osigurač, 3) 3 jednopolna rastavljača, 4) tropolni rastavljač s osiguračima
	Naponski osigurač (probojni osigurač)
	Jednopolna učinska sklopka s ručnim zagonom i nadstrujnim okidačem (lijevo: skraćeni simbol)

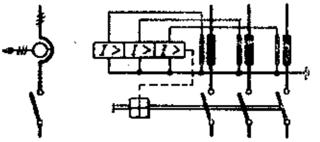
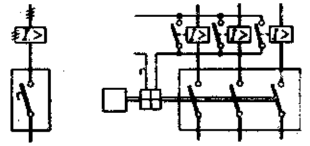
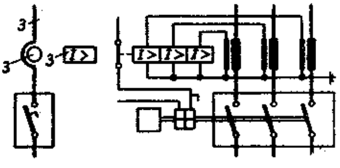
Grafički simboli (nastavak)

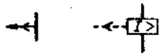
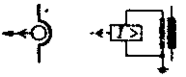
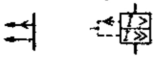
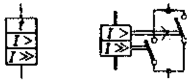
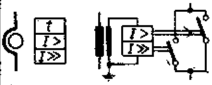
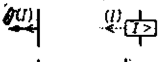
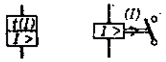
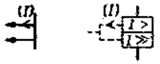
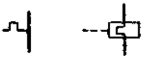
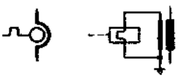
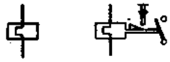
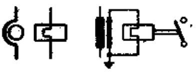
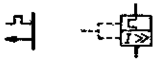
Simbol	Naziv	Simbol	Naziv
Primjeri sklopnih aparata			
	Jednopolna sklopka s nekoliko položaja i dva pomična sklopna dijela, npr. dvostruka ćelijska sklopka (lijevo: skraćeni simbol)		Uljna učinska sklopka u tropolnom prikazu
	Jednopolna biračka sklopka sa 4 položaja (lijevo: skraćeni simbol)		Tropolne učinske sklopke u jednopolnom prikazu: 1) malouljna, 2) hidromatska, 3) pneumatska
	Tropolna sklopka sa 2 položaja, s isklopcem, uklopcem i preklopcem		Trop. uč. sklopka s ručnim zagonom, sklopna brava s okidačem radnom strujom i sa 2 elmagn. nadstrujna okidača
	Jednopolna sklopka za zaštitni spoj od dodirnog napona (lijevo: skraćeni simbol)		Isto, u jednopolnom prikazu
	Jednopolni instalacioni automat s eltermičkim i elmagnetskim nadstrujnim okidačem (lijevo: skraćeni simbol		Trop. uč. sklopka s motornim zagonom i pomoćnim sklopkama (na sklopki 1 uklopac i 1 isklopac, na zagonu 1 uklopac)
			Isto, u jednopolnom prikazu
	Primjer motorske zaštitne sklopke s 2 elterm. i 2 elmagn. nadstrujna okidača te podnaponskim okidačem		Jednopolna brza (rapidna) sklopka sa pneum. zagonom za uklapanje, sa nadstrujnim okidačem, sklopnom bravom i pomoćnim okidačem
			Isto, skraćeni simbol
	Isto, pojednostavnjeni prikaz		Potvrdna sklopka, jednopolni preklopac sa svjetlosnim javljalom, s ručnim zagonom (desno: simbol, lijevo, skraćeni simbol)
	Isto, skraćeni simbol		Komandno-potvrdna sklopka sa 2 čvrsta i 2 tipkalna kontakta
	Tropolni sklopnik s tropolnim elektrotermičkim nadstrujnim relejima		Isto, skraćeni simbol
	Isto, skračeni simbol		Sklopka zvijezda-trokut
	Isto, sa zaporom prema ponovnom uklapanju		
	Isto, skraćeni simbol		Isto, drugi način prikaza
	Tropolni rastavljač zagonjen motorskom snagom s rastavljačem za uzemljenje zagonjenim ručno (lijevo: skraćeni simbol)		1) Isto, skraćeni simbol, 2) isto, s pomoćnom sklopkom za blokiranje (npr. uklopac u položaju Y)

Grafički simboli (nastavak)

Simbol	Naziv
Primjeri sklopnih aparata (nastavak)	
	Sklopka sa 5 položaja, s ručnim zagonom, npr. valjkasta sklopka sa 8 priključaka
	Isto, skraćeni simbol
	Trofazni pokretač s ručnim zagonom
	Ventil aktiviran elektromagnetski
	1) Kočnica aktivirana el. motorom (koči dok se motor okreće), 2) el. magnet za dizanje tereta

Primjeri zaštitne tehnike

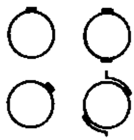
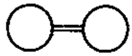
Simbol	
	1
	2
	3
	4

Simbol	Naziv
	Nadstrujna zaštita s nezavisnim usporenjem s primarnim okidačem
	Isto, sa sekundarnim okidačem
	Isto, s primarnim relejem
	Isto, sa sekundarnim relejem
	Nadstrujna zaštita s nezavisnim usporenjem i brzim isklapanjem, s primarnim okidačem
	Isto, sa sekundarnim okidačem
	Isto, s primarnim relejem
	Isto, sa sekundarnim relejem
	Nadstrujna zaštita s usporenjem zavisnim od struje, s primarnim okidačem
	Isto, s primarnim relejem
	Nadstrujna zaštita s usporenjem zavisnim od struje i brzim isklapanjem, s primarnim okidačem
	Termička nadstrujna zaštita s primarnim okidačem
	Isto, sa sekundarnim okidačem
	Isto, sa sekundarnim relejem
	Isto, sa primarnim relejem
	Termička nadstrujna zaštita s brzim isklapanjem, s primarnim okidačem
	Podnaponski relej u spoju za radnu struju

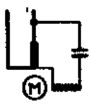
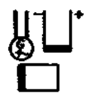
Nadstrujna zaštita: 1) sa 2 primarna okidača; — 2) sa 2 sekundarna okidača (teretna sklopka sa ručnim zagonom); — 3) sa 3 primarna releja u radnom spoju (učinska sklopka sa zagonom motorskom snagom); — 4) sa tropolnim sekundarnim relejem u mirnom spoju.

Grafički simboli (nastavak)

Dijelovi i osnovne vrsti električnih strojeva

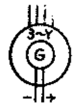
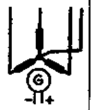
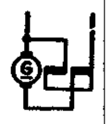
Simbol	Naziv
	Stator, namot statora: 1) skraćeni simbol, 2), 3) i 4) simboli (po izboru)
	Stator sa 2 nezavisna namota: 1) skraćeni simbol, 2) i 3) simboli (po izboru)
	Kompenzacioni namot (po izboru)
	Namot pomoćnih polova (po izboru)
	Trajni magnet
	Prstenasti uzbudni namot u statoru ili rotoru: 1) skrać. simbol, 2) simbol
	Rotor općenito, posebno s porazdijeljenim namotom i kavezni rotor
	Rotor s istaknutim polovima (po izboru)
	Rotor sa 2 odjelita, porazdijeljena namota
	Kolutni rotor s podizačem četkica i kratkim spajanjem: 1) skrać. simbol, 2) simbol
	Rotor s namotom i kolektorom: 1) s nepomičnim četkicama, skrać. simbol; 2) isto, simbol; 3) s pomičnim četkicama, skrać. simbol; 4) isto, simbol
	Spajanje dvaju strojeva
	1) Generator, 2) motor, 3) jednoarmaturni pretvarač (sve općenito)
	1) Istosmjerni generator, 2) jednofazni motor, 3) trofazni generator (sve općenito)

Primjeri električnih strojeva

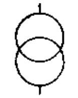
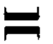
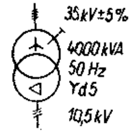
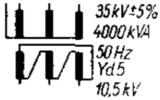
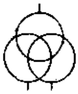
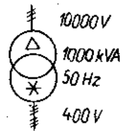
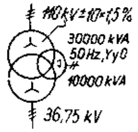
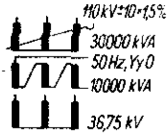
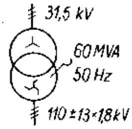
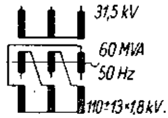
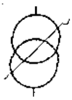
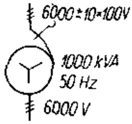
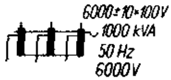
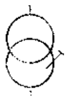
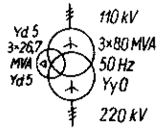
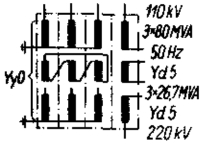
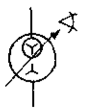
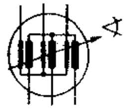
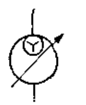
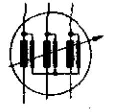
Skraćeni simbol	Simbol	Naziv
		Trof. asinhr. motor s trof. kolutnim rotorom ured. za kratko spajanje i podizanje četkica, s pom. pogonom i pom. sklopkom, stator spojen u trokut.
		Trofazni asinhr. motor s kaveznim rotorom, stator spojen u zvijezdu.
		Trof. asinhr. motor s kaveznim rotorom, svih 6 krajeva namota izvedeno iz motora, npr. prema sklopki zvijezda trokut.
		Trof. asinhr. motor s kaveznim rotorom, stator u Dahlanderovu spoju za prekapanje polova (npr. sa 8 na 4).
		Jednof. asinhroni motor s kaveznim rotorom i induktivno spregnutim kratko spojenim namotom za pokretanje u statoru.
		Jednof. asinhroni motor s kaveznim rotorom i namotom za pokretanje u statoru, s kondenzatorom.
		Jednof. sinhr. generator s istaknutim polovima i prigušnim kavezom.
		Jednof. sinhr. generator s istaknutim polovima u statoru, s prigušenjem poprečnog polja.

Grafički simboli (nastavak)

Primjeri za električne strojeve (nastavak)

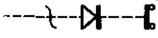
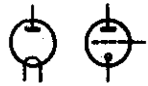
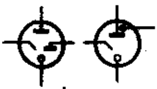
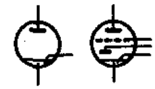
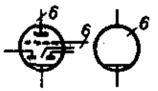
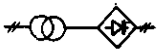
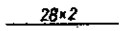
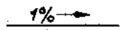
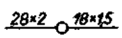
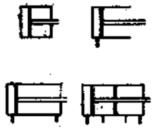
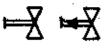
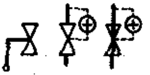
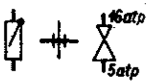
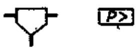
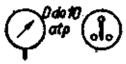
Skraćeni simbol	Simbol	Naziv	Skraćeni simbol	Simbol	Naziv
		Trofazni sinhroni turbogenerator bez prigušnog kaveza. Statorski namot spojen u zvijezdu s izvedenim zvjezdišnim vodičem.			Trofazni sinhroni generator s istaknutim polovima statorski namot spojen u trokut.
		Trofazni sinhroni turbogenerator s prigušnim kavezom. Svi krajevi statorskog namota izvedeni su.			Trofazni sinhroni motor s izrazitim polovima i kavezom za pokretanje. Statorski namot spojen u zvijezdu.
		Skraćeni simbol za istosmjerni generator (ili motor, tada M) u porednom spoju.			Skraćeni simbol za istosmjerni motor u serijskom spoju.
		Istosmjerni poredni generator s pomoćnim polovima čiji je namot spojen jednostrano s obzirom na armaturu.			Istosmjerni serijski motor
		Istosmjerni poredni generator s pomoćnim polovima čiji je namot simetrično raspoređen s obzirom na armaturu.			Istosmjerni serijski motor s pomoćnim polovima koji su spojeni jednostrano s obzirom na armaturu.
		Istosmjerni poredni generator s kompenzacionim namotom i namotom pomoćnih polova koji su spojeni jednostrano s obzirom na armaturu.			Istosmjerni serijski motor s pomoćnim polovima čiji je namot simetrično raspoređen s obzirom na armaturu.
		Istosmjerni poredni generator s kompenzacionim namotom i namotom pomoćnih polova koji su porazdijeljeni simetrično s obzirom na armaturu.			Istosmjerni serijski motor s kompenzacionim namotom i namotom pomoćnih polova koji su porazdijeljeni simetrično s obzirom na armaturu.
		Istosmjerni generator s nezavisnom uzbudom.			Kompaundni istosmjerni generator.
		Istosmjerni generator s nezavisnom i serijskom uzbudom.			Kompaundni istosmjerni motor.

Grafički simboli (nastavak)

Skraćeni simbol	Simbol	Naziv	Skraćeni simbol	Simbol	
		Transformatori i prigušnice			
		Transformator sa 2 odijeljena namota			1
		Transformator sa 3 odijeljena namota			2
		Autotransformator			3
		Prigušnica			4
		*Regulacioni transformator s regulacijom u* stupnjevima			5
		Transformator s oznakom namota kojega se napon podešava (izvan pogona)			6
		Regulacioni autotransformator s kontinuiranom regulacijom			7
		Prigušnica koja se kontinuirano regulira			8

1) Normalni trofazni transformator s izvedenim zvjezdištem. — 2) Usmjerivački transformator sekundarno spojen u dvostruku zvijezdu (6 faza). — 3) Trofazni regulacioni transformator s tercijarnim namotom (za izjednačenje) u spoju otvorenog trokuta. — 4) Trofazni transformator za poprečnu regulaciju (u stupnjevima); kut između glavnog i dodatnog napona 60°. — 5) Trofazni autotransformator prolazne snage 1000 kVA. — 6) Trofazna grupa, koja se sastoji od 3 jednofazna transformatora i 1 rezervnog jednof. transformatora s namotima za izjednačenje po 26,7 MVA. — 7) Trofazni zakretni transformator s odijeljenim namotima spojenim u zvijezdu. — 8) Isto, ali su namoti u štednom spoju.

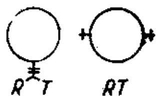
Grafički simboli (nastavak)

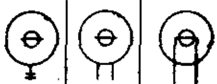
Simbol	Naziv
Usmjerivači	
	Usmjerivač: a) općenito; b) od poluvodiča; c) posuda usmjerivača na izbijanje
	Sklopni element za kontaktni usmjerivač
 	Usmjerivač punjen plinom (ili parom): a) s užarenom katodom; b) s hladnom katodom i rešetkom; c) s hladnom katodom, anodom za paljenje i uzbudnom katodom
	Egzitron: a) s anodom za paljenje, uzbudnom anodom, rešetkom i indirektnim grijanjem glavne anode; b) s kombiniranom anodom za paljenje i uzbudu te rešetkom
	Ignitron: a) s dirkom za paljenje; b) s dirkom za paljenje, uzbudnom anodom i rešetkom
	a) Više anodni živin usmjerivač (6 anoda, 6 rešetaka, 1 anoda za paljenje, 2 za uzbudu); b) živim usmjer. sa 6 posuda, općenito
	Usmjerivač od poluvodiča masni spoj
Instalacije za pneumatske zagone	
	Cjevovod, općenito
	Isto, s nagibom 1% u smjeru strelice
	Pomičan cjevovod, npr. gumena cijev
	Završetak cijevi
	Rashladna rebrasta cijev
	1) Rashladna zmija 2) Kompezator rastezanja
	Spojevi cijevi*: 1) općenito, posebno nerazrješiv, 2) razrješiv, 3) električno izoliran
	Ravni spoj cijevi istog promjera, nerazrješiv
	Redukcioni spoj, razrješiv
	1) Kompresor (dvostepeni), 2) kotao
	Stapni zagon: 1) općenito, 2) s jednostranim djelovanjem, 3) s dvostranim djelovanjem, 4) isto, s pneumatskim javljanjem
	Zaporni organi: 1) općenito, posebno osnovni položaj zatvoren, 2) osn. položaj otvoren, 3) s dodatnim odzračivanjem, 4) s priključkom npr. manometra
	Ventil s ručnim zagonom: 1) otvara i zatvara, 2) rukom otvara, automatski zatvara
	1) Sigurnosni ventil, 2) pretlačni ventil, otvara kod pretlaka, 3) isto zatvara kod pretlaka
	1) Polutlačni organ (ventil) 2) blenda, 3) redukcioni ventil
	1) Izlučivač tekućine, 2) tlačni ventil
	Manometar: 1) općenito, 2) sa sklopkom za maksimum i minimum
	1) Registracioni manometar, 2) *mjerilo protjecanja*
Mjerni instrumenti	
	1. Pokazni mjerni instrument. 2. Registrac. mjerni instrument. 3. Brojilo.
	**Mjerni sistemi** 1. općenito, 2 s naponskom stazom, 3. sa strujnom stazom
	Mjerni sistemi za zbrajanje ili odbijanje: 1. sa dvije napon. staze, 2. sa dvije strujne staze.
	Mjerni sistemi za množ. ili dijeljenje: 1. sa dvije naponske staze 2. sa dvije strujne staze, 3. sa napon. i struj. stazom
	Sklopke (kontakti) u mjernim instrumentima: 1. za najmanju vrij. za najveću vrij. 3. za najmanju i najveću vrijednost.

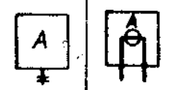
*Simbole 2) i 3) upotrijebi samo ako je potrebno.

Grafički simboli (nastavak)

Mjerni instrumenti

Simbol	Naziv
	Instrument 1. u pojedinačnom spoju, 2. u serijskom spoju
	1. Instrument između vodiča R i T 2. Jedan instrument u vodiču R, a drugi u vodiču T
	1. Instrument s jednim mjernim sist., 2. sa dva, 3. sa tri mjerna sistema

Skraćeni simbol jednopolni / višepolni, Simbol	Naziv
	Instrument sa dva mjerna sistema, u pojedinačnom spoju u istoj mreži
	Isto, ali u odijeljenim mrežama
	Mjerni sistem s jednom naponskom stazom
	Mjerni sistem s jednom strujnom stazom
	Mjerni sistem sa dvije naponske staze za zbrajanje ili odbijanje
	Mjerni sistem sa dvije strujne staze za zbrajanje ili odbijanje
	Mjerni sistem sa dvije naponske staze za množenje ili dijeljenje
	Mjerni sistem s jednom naponskom i jednom strujnom stazom za množenje ili dijeljenje

Skraćeni simbol, Simbol	Naziv
	Mjerni sistem sa dvije strujne staze za zbrajanje ili odbijanje i jednom naponskom stazom za množenje ili dijeljenje
	Dva mjerna sistema sa po jednom naponskom stazom za zbrajanje ili odbijanje, u odijelj. mrežama
	Dva mjerna sistema sa po jednom strujnom stazom za zbrajanje ili odbijanje, u odijeljenim mrežama
	Isto ali u istoj mreži
	Dva mjerna sistema sa dvije strujne i dvije naponske staze za množenje ili dijeljenje
	Tri mjerna sistema sa po jednom strujnom i jednom naponskom stazom za množenje ili dijeljenje
	Voltmetar
	Diferencijalni voltmetar
	Pisaći ampermetar
	Vatmetar za istosmjernu ili jednofaznu struju*
	Vatmetar za simetrično opterećeni trofazni sistem, s umjetnim zvjezdištem; strujna staza u serijskom spoju

* Jednaki simbol vrijedi i za mjerilo faktora snage i za omometar, samo umjesto W dolazi tada $\cos\varphi$ odnosno Ω.

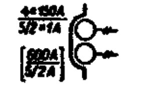
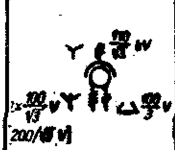
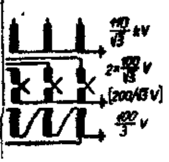
Grafički simboli (nastavak)

Skraćeni simbol	Simbol	Naziv
		Brojila
		Vatsatno brojilo za istosmjernu ili jednofaznu izmjeničnu struju; naponska staza spojena je sa struj. stazom na brojilu
		Pisaći vatmetar za nesimetrično opterećeni trofazni sistem s tri vodiča: strujne staze u serijskom spoju; motorni zagon
		Vatsatno brojilo za nesimetrično opterećeni trofazni sistem s tri vodiča; mjerni sistemi prikjučeni su na odijeljene mreže
		Vatsatno brojilo za nesimetrično opterećeni trofazni sistem s tri vodiča; naponske staze spojene su sa strujnim stazama na brojilu
		Vatsatno brojilo za nesimetrično opterećeni trofazni sistem sa četiri vodiča; naponske staze spojene su sa strujnim stazama na brojilu

Simbol	Naziv
	Skraćeni simboli: Naponski mjerni transformator, 1) ili 2) po izboru
	Simboli: Isto, 1) ili 2) po izboru
	Naponski mjerni transformator s odvojkom: 1) primarno, 2) sekundarno
	Naponski mjerni transformator, prespojiv: 1) primarno, 2) sekundarno
	Skraćeni simboli: Naponski mjerni transformatori sa 2 namota: 1) ili 2) ili 3) po izboru
	Simboli: Isto, 1) ili 2) po izboru
	Kapacitivni naponski mjerni transformator: *1)* skraćeni simbol, 2) simbol

Mjerni transformatori

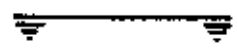
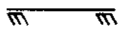
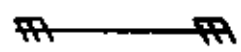
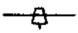
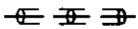
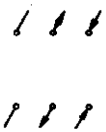
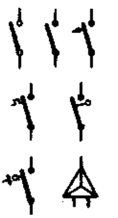
Simbol	Naziv
	Skraćeni simboli: Strujni mjerni transformator; 1) ili 2) po izboru
	Simboli: 1) Strujni mjerni transformator, općenito; 2) isto, s prikazom primarnog namota ako je potrebno
	*Strujni mjerni transformator s odvojkom:* 1) primarno, 2) ili 3) sekundarno
	Strujni mjerni transformator, prespojiv: 1) primarno, 2) ili 3) sekundarno
	Skraćeni simboli: Strujni mjerni transformator sa 2 jezgre; 1) ili 2) po izboru
	Simboli: *1) ili 2):* Strujni mjerni transformator za 2 jezgre

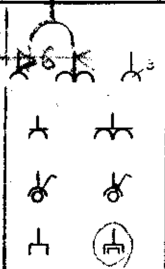
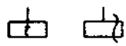
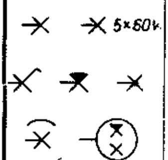
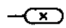
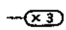
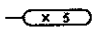
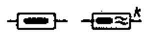
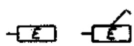
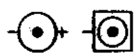
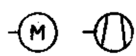
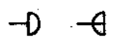
Skraćeni simbol	Simbol	
		1
		2
		3
		4

1) Strujni mjerni transformator sa 2 jezgre prespojiv primarno 1 : 2 : 4, sekund. namot jedne jezgre prespojiv 1 : 2. – 2) 3 strujna mjerna transformatora ugrađena u trofazni vod od kojih dva sa dvije jezgre, a 1 sa jednom jezgrom. – 3) 2 naponska mjerna transformatora u V-spoju. – 4) 3 jednopolna naponska transformatora za priključak na trofaznu struju.

Grafički simboli (nastavak)

Električne instalacije

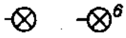
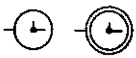
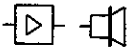
Simbol	Naziv
	Pomični vod
	Podzemni kabel
	Nadzemni vod
	Vod nad žbukom
	Vod u žbuci
	Vod pod žbukom
	Vod na izolatorima
	Izol. vod u instal. cijevi
	Vertikalno položeni vod 1. ide prema gore ili dolazi odozgo, 2. smjer energije prema gore, 3. smjer energije odozgo, 4. vod ide prema dolje ili dolazi odozdo, 5. smjer energije prema dolje, 6. smjer energije odozdo
	1) Odvojnica, 2) zaglavak[1], 3) kućni priključni ormarić
	1) Uzemljenje, 2) tijelo (masa)
	1) Osigurač, 2) odvodnik prenapona
	1) i 2) Sklopka, općenito; 3) zaštitna nadstrujna sklopka, npr. vodni automat; 4) zaštitna sklopka s termičkim okidanjem, npr. motorska zašt. sklopka; 5) zaštitna podnaponska sklopka; 6) sklopka za zaštitu od dodirnog napona; 7) sklopka zvijezda-trokut
	Pokretač, regulacioni otpornik
	Instalaciona sklopka: 1. jednopolna, 2. dvopolna, 3. tropolna, 4. grupna (skupinska), 5. serijska (redna), 6. izmjenična, 7. križna (unakrsna), 8. potezna
	1) Tipkalo, 2) svijetleće tipkalo

Simbol	Naziv
	Utičnica: 1) obična, 2) dvostruka, 3) trostruka, 4) sa zaštitnim kontaktom, 5) dvostruka sa zašt. kontaktom, 6) isklopiva, 7) isklopiva i blokirana, 8) za telekomunikacije, 9) antenska
	1) Utikač, 2) utikač sa zaštitnim kontaktom
	Uklopni sat
	1) Vremenski relej (npr. za stubišnu rasvjetu), 2) treptavi relej
	Svjetiljke: 1) općenito, 2) višestruka s naznakom broja i snage sijalica, 3) sa sklopkom, 4) za nuždu, 5) protiv panike, 6) reflektor, 7) sa dodatnom svjetiljkom za nuždu
	Fluorescentna sijalica ili svjetiljka za fluor. sijalice
	Svjetiljka sa 3 fluor. sijalice
	Svjetl. traka od 5 fluor. sijalica
	1) Stabilizator, 2) isto, ali kompenziran i sa zaporom prema tonfrekvenciji
	Starter
	1) El. aparat, općenito; 2) isto, isklopiv
	1) Električni štednjak, 2) hladnjak
	1) Bojler, 2) stroj za pranje rublja
	Električna grijalica
	1) Motor, općenito; 2) ventilator
	1) Budilica, 2) zujalo

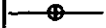
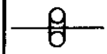
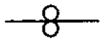
[1] Kružni luk okrenut prema kabelu.

Grafički simboli (nastavak)

Instalacije (nastavak)

Simbol	Naziv
	1) Truba, 2) sirena
	1)Signalna svjetiljka, 2) sign. ploča sa 6 svjetiljaka
	Sign. svjetiljka s obustavnim tipkalom
	Ploča za poziv i obustavu
	Elektrobrava
	1)El. sat općenito, posebno poredni sat; 2) glavni sat
	Aparat za kontrolu karata s ručnim zagonom
	Fotoelektrični signalni uređaj, automatski
	Antena, općenito
	1) Pojačalo, 2) zvučnik
	1) Radio-aparat, 2) televizor

Stupovi za nadzemne vodove

Simbol	Naziv
	Nadzemni (slobodni, zračni) vod na stupovima, općenito
	Na drvenim stupovima
	Na armiranim betonskim stupovima
	Na čeličnim stupovima
	Na čeličnim rešetkastim stupovima
	Na drvenim stupovima s betonskim nogarima
	A-stup
	Dvojni stup
	Prepletni stup
	Usidreni stup
	Stup s uporom
	Krovni nosač
	Zidni nosač
	Zidna konzola

Pobliže o simbolima vidi u normama DIN:
40 704, list 1: Industrijska primjena elektrotopline, elektrokemije i elektrostatike
40 706: Usmjerivači
40 708: Javljala
40 710: Napon, struja, vrste spoja, sistemi izmjenične struje
40 711: Vodovi i njihovi spojevi
40 712: Općeniti sklopni dijelovi
40 713: Sklopni aparati
40 713, list 1: Sklopni aparati, primjeri iz tehnike jake struje
40 713, list 2: Sklopni aparati, primjeri za električnu vuču
40 713, list 3: Sklopni aparati, primjeri iz zaštitne tehnike
40 714, list 1: Transformatori i prigušnice
40 714, list 2: Mjerni transformatori
40 714, list 3: Transduktori
40 715: Električni strojevi
40 716, list 1: Mjerni instrumenti, aparati i brojila
40 717: Instalacioni planovi
43 609: Pneumatski uređaji

41 DOZVOLJENI PAD NAPONA

Prema jugoslavenskom standardu za el. instalacije (JUS N.B2.702/1952):

U zajedničkom dovodu od uvoda do električkog brojila . . . do 1%
Od električnog brojila do bilo kojeg rasvjetnog mjesta . . . . do 2%
Od električnog brojila do bilo kojeg motora . . . . do 5%

Prema jugoslavenskom standardu za napone elektr. mreža i preporukama IEC*

U mreži do 1000 V neka se najviši i najniži napon u bilo kojoj tački do zadnjeg trošila ne razlikuju za više od približno ± 10% od nazivnog napona mreže. Preporučuje se da se te razlike, gdje to prilike razvoda dopuštaju, *smanje na ± 5%.*

Prema sovjetskim smjernicama**

a) Gradske mreže niskog napona

Od sabirnica niskog napona transformatorske stanice do zadnjega trošila (u postocima nazivnog napona trošila) . . . . do 6%

Ovaj se pad napona dijeli na

— pad napona od transformatorske stanice do uvoda u kuću 3,5—5%
— pad napona od uvoda u kuću do zadnjeg trošila . . 1—2,5%

b) Gradske mreže visokog napona

U kabelskim mrežama u normalnom pogonu . . . . do 6%
U kabelskim mrežama kod pogona u slučaju kvara . . . do 10%
U mrežama nadzemnih vodova u normalnom pogonu . . do 8%
U mrežama nadzemnih vodova kod pogona u slučaju kvara do 12%

c) Industrijske mreže

Od sabirnice niskog napona transformatorske stanice do zadnjeg motora
a) u normalnom pogonu . . . . do 8%
b) *kod pogona u slučaju kvara . . . . do 12%*
c) kod pokretanja motora koji se često pokreću . . . . do 10%
d) kod pokretanja motora koji se rijetko pokreću . . . do 15%

Od sabirnice niskog napona transformatorske stanice do zadnjeg rasvjetnog mjesta

a) kad se rasvjeta napaja iz manjih transformatora samo za rasvjetu snage do 50 kVA . . . . do 6%
b) kad se rasvjeta napaja iz transformatora samo za rasvjetu, snage iznad 50 kVA . . . . do 7%
c) kad se rasvjeta napaja posebnim pojnim vodovima, ali iz zajedničkih transformatora za rasvjetu i pogon . . . do 5,5%
d) kad se rasvjeta napaja iz mreže za pogon . . . do 7,5%

---

* JUS N.A2.001/1957 (»Standardni naponi električnih mreža«, vidi narednu stranu) i IEC publikacija broj 38/1954 (»Standardni naponi mreža prema IEC«).

** Za gradske mreže prema sovjetskim »Osnovnim smjernicama za projektiranje gradskih električnih mreža« (Narodni komesarijat elektrostancija, 1940). Za industrijske mreže prema sovjetskim »Propisima za gradnju električnih uređaja industrijskih poduzeća«.

Standardni naponi električnih mreža u SFRJ

42a

prema *JUS N.A2.001/1957*

Definicije: a) Mreža je skup svih međusobno spojenih postrojenja i vodova istog nazivnog napona. — b) Nazivni napon mreže je napon kojim je mreža označena i na koji se odnose neke radne karakteristike mreže. — c) Najviši napon mreže je najviša vrijednost napona koja se u normalnim pogonskim uvjetima pojavljuje u bilo kojem trenutku i na bilo kojoj tački mreže. Ova vrijednost ne uzima u obzir prolazne promjene napona zbog smetnji i zbog naglog isklapanja velikih opterećenja.

Standardni naponi:

1. Za istosmjerne mreže: Nazivni naponi 110—220—440 V.
2. Za jednofazne mreže: Nazivni naponi 127 i 220 V.
3. Za trofazne mreže sa 4 vodiča: Nazivni naponi 220/127* i 380/220 V.
4. Za trofazne mreže sa 3 vodiča između 100 i 1000 V: Nazivni naponi 220*, 380*, 500*, 900 V.

Primjedbe za mreže od 2 do 4: a) Vrijednosti obilježene zvjezdicom (*) ne smiju se upotrebljavati za javnu elektrifikaciju.

b) Najviši i najniži napon neke mreže neka se ne razlikuju od nazivnog napona mreže za više od približno ± 10%. Ako uvjeti razvoda to dopuštaju, preporučuje se da se odstupanja od nazivnog napona smanje na ± 5%.

5. Za trofazne mreže sa 3 vodiča iznad 1 kV:

Nazivni naponi	3*	6*	10	20**	35	60**	110	220	380	kV
Najviši naponi	3,6*	7,2*	12	24**	38	72,5**	123	345	420	kV

Primjedbe: a) Vrijednosti obilježene jednom zvjezdicom (*) ne smiju se upotrebljavati za javnu elektrifikaciju. (Dolaze u obzir kao generatorski naponi te za industrijska i rudarska postrojenja.)

b) Vrijednosti obilježene dvjema zvjezdicama (**) mogu se upotrebljavati samo izuzetno, ako je to opravdano ekonomskim razlozima.

c) Do početka 1957. bilo je neriješeno pitanje izbora nazivnog napona 30 ili 35 kV kad je konačno odlučeno da se u SFRJ standardizira preporuka IEC (vidi niže). Utvrđeno je, međutim, da će se za te mreže upotrebljavati materijal izoliran na najviši napon 36 kV prema IEC (tj. ispitan odgovarajućim ispitnim naponima, *vidi narednu stranu*).

6. Za električnu vuču istosmjernom strujom: Nazivni naponi 600—750—1500—3000 V.

Primjedbe uz 6: a) Napon 600 V smije se upotrijebiti samo za tramvaje, trolejbuse i rudničke željeznice.

b) U mreži za vuču najviši napon ne treba da se razlikuje više od + 20%, a najniži napon ne više od —33,3% od nazivnog napona mreže.

Nazivni i najviši naponi mreža prema IEC

42b

Prema publikaciji IEC broj 38/1954

Nazivni naponi mreže Niz I	Niz II	Niz III	Najviši napon mreže	Nazivni naponi mreže Niz I	Niz II	Niz III	Najviši napon mreže
kV	kV	kV	kV	kV	kV	kV	kV
3	3,3		3,6	60	66	69	72
6	6,6		7,2	80	88	90	100
10	11		12	100	110	115	123
15			17,5	120	132	138	145
20	22		24	150	161		170
30	33		36	220	225	230	245
45	44		52	275	287,5		300
				380			420

Tri niza nazivnih napona usvojena su stoga da se uvaži stanje u pojedinim zemljama. Najviši napon mreže je za međunarodnu unifikaciju važniji od na-

zivnog napona jer on služi za utvrđivanje nivoa izolacije. Stoga IEC preporučuje samo jedan niz najviših napona.

Jugoslavenski standard za napone mreža odgovara preporukama IEC, osim u nivou *30—33 kV za nazivne napone, odnosno 36 kV za najviši napon.*

43 Standardni nazivni visoki naponi u pojedinim zemljama (u kV)

Austrija: 3 — 6 — 10 — 20 — 30 — (45) — (60) — 110 — 225
Belgija: 1 — 3 — 6 — 10 — 15 — 20 — 30 — 45 — 60 — 80 — 100 — 120 — 150 — 220
ČSSR: 1 — 3 — 6 — 10 — 15 — 22 — 35 — 100 — 220
Francuska: 1 — 3,2 — 5,5 — 10 — 15 — 22 — 30 — 45 — 60 — 75 — 90 — 110 — 150 — 220
Italija: 3 — 6 — 10 — 15 — 20 — 30 — 60 — 80 — 120 — 150 — 220
Njemačka: 3 — 5 — 6 — 10 — 15 — 20 — 25 — 30 — 60 — 110 — 220 — 380
SAD: 2,4 — 2,4/4,16 — 4,8 — 7,2 — 4,8/8,32 — 12 — 7,2/12,5 — 7,6/13,2 — 13,2 — 14,4 — — 23 — 27,6 — 34,5 — 46 — 66 — 88 — 110 — 132 — 161 — 225 — 287,5 — 380
SSSR: 3 — 6 — 10 — 35 — 110 — (154) — 220 — 330 — 500 — (750)
Švedska: 3 — 6 — 10 — 20 — 30 — 40 — 50 — 70 — 120 — 220 — 380
Švicarska: 1 — 3 — (6) — 10 — (15) — 20 — 30 — 45 — 60 — (80) — 110 — 150 — 220 — — 300 — 400
Vel. Britanija: 3,3 — 6,6 — 11 — 15 — 22 — 33 — 44 — 55 — 66 — 88 — 110 — 132 — — 165 — 220.

44 Koordinacija izolacije

prema JUS N.B0.030/1958 i publikaciji IEC broj 71/1958

Koordinacija izolacije je skup svih mjera poduzetih da se spriječe štete od prenapona na električnim postrojenjima i da se preskoci lokaliziraju na mjesta gdje neće nanijeti štetu (ako se preskoci ekonomičnim sredstvima ne mogu sasvim ukloniti). U tu svrhu treba izolacionu sposobnost električnih postrojenja i uređaja uskladiti s karakteristikama zaštitnih uređaja protiv prenapona.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Standardni podnosivi naponi						Povišeni standardni podnosivi naponi[5])			
Stupanj izolacije[1])	Najviši pogons. napon mreže[2])	Podnosivi naponi 1 min[3]) PSI[6])	Podnosivi naponi 1 min[3]) SSI[7])	Podnosivi udarni naponi[4]) PSI[6])	Podnosivi udarni naponi[4]) SSI[7])	Stupanj izolacije[1])	Najviši pogons. napon mreže	Podnosivi naponi 1 min[3]) PSI[6])	Podnosivi naponi udarni[4]) PSI[6])
	kV	kV	kV	kV	kV		kV	kV	kV
Podnosivi naponi prema JUS N.B0.030/1958									
Si 3,6	3,6	16	—	45	—	Si 3,6 a	3,6	21	45
Si 7,2	7,2	22	—	60	—	Si 7,2 a	7,2	27	60
Si 12	12	28	—	75	—	Si 12 a	12	35	75
Si 24	24	50	—	125	—	Si 24 a	24	55	125
Si 38[8])	38[8])	70	—	170	—	Si 38 a[8])	38[8])	75	170
Si 72,5	72,5	140	—	325	—				
Si 123	123	230	—	550	—				
Si 123 s	123	—	185	—	450				
Si 245	245	460	—	1050	—				
Si 245 s	245	—	395	—	900				
Si 420 s	420	—	[9])	—	[9])				
Podnosivi naponi prema IEC jesu svi gore navedeni i još ovi:									
Si 17,5	17,5	38	—	95	—	Si 17,5	17,5	45	95
Si 36	36[10])	70	—	170	—	Si 36	36[10])	75	170
Si 52	52	95	—	250	—	Si 52	52	105	250
Si 100	100	185	150	450	380	Si 100	100		
Si 145	145	275	230	650	550	Si 145	145		
Si 170	170	325	275	750	650	Si 170	170		
Si 300	300	—	460	—	1050	Si 300	300		

Komentar uz tablicu lijevo

1) Stupanj izolacije nekog uređaja određen je vrijednostima podnosivih napona koji karakteriziraju izolaciju tog uređaja s obzirom na njezinu dielektričnu čvrstoću. Slovo s u oznaci stupnja izolacije označuje smanjenu izolaciju koja se smije upotrijebiti samo u mrežama sa direktno uzemljenim zvjezdištem (nultačkom), tj. u mrežama čiji koeficijent uzemljenja ne prelazi 80%. Ovaj je uvjet obično ispunjen kad je za sve konfiguracije mreže omjer između jalovog otpora (reaktancije) sufaznog i pozitivnog sistema (vidi metodu simetričnih komponenata u 39) manji od 3, a omjer između djelatnog (omskog) otpora sufaznog sistema i jalovog otpora pozitivnog sistema manji od 1, tj. $X_0/X_1<3$ i $R_0/X_1<1$. Slovo a u oznaci označuje stupanj izolacije s povišenim jednominutnim ispitnim naponom. Povišeni jednominutni ispitni naponi upotrebljavaju se samo do Si 38a.

2) Što je najviši pogonski napon mreže, vidi u 42a.

3) To je najviši napon industrijske frekvencije (obično 50 Hz, ali frekvencija smije — po potrebi — biti povišena) koji uređaj mora podnijeti za vrijeme 1 min bez proboja ili preskoka, pri ispitivanju uz standardne atmosferske prilike, 760 mm Hg, 20° C, 11 g vodene pare po 1 m³ zraka (oznaka 760/20/11). Ako se atmosferske prilike razlikuju od standardnih, treba podnosive napone preračunati. Ispitni napon je izražen efektivnom vrijednošću. Uređaji predviđeni za upotrebu na slobodnom prostoru ispituju se na kiši (tipsko ispitivanje) i u suhom (komadno ispitivanje).

4) To je najviši udarni napon pozitivne ili negativne polarnosti (već prema tome koja je za ispitivani uređaj nepovoljnija) oblika 1,2/50 mikrosekunda (vidi 333) koji uređaj mora podnijeti bez proboja ili preskoka kad se ispituje uz standardne atmosferske uvjete. Udarni ispitni napon izrazuje se tjemenom vrijednošću. Broj udara koji pojedini uređaj ili naprava mora podnijeti nije propisan u JUS N.B0.030, već treba da se propiše posebnim standardima. Kad se ispituje vanjska izolacija na preskok, primjenjuje se 5 udara. Izolacija je dobra ako do preskoka ne dođe nijednom, a loša ako do preskoka dođe dva ili više puta. Ako dođe do preskoka samo jednom, ispitivanje se ponavlja sa još 10 udara. Izdrži li izolacija svih 10 udara, smatra se da je zadovoljila zahtjevima; ako dođe samo jednom do preskoka, izolacija ne zadovoljava. Ispitivanje udarnim naponom smatra se tipskim ispitivanjem. Ono se uvijek izvodi u suhom, bez obzira da li materijal služi za unutarnju ili vanjsku instalaciju. Ovo se ispitivanje vrši samo na onom materijalu koji će u pogonu raditi u »izloženom položaju«, tj. tamo gdje će biti izložen atmosferskim prenaponima. — Podnosivi udarni napon jednak je za unutarnju i za vanjsku izolaciju.

5) JUS N.B0.030 ne određuje kad treba upotrijebiti ove stupnjeve izolacije s povišenim jednominutnim naponom (podnosivi udarni napon je nepovišen). Ti stupnjevi izolacije dolaze u obzir u prvom redu za naprave izložene atmosferskim prenaponima. Međutim publikacija IEC broj 71/1958 preporučuje da se u jednoj zemlji upotrebljavaju ispitni naponi ili prema stupcu 3 ili prema stupcu 9.

6) Puni stupanj izolacije (za mreže čiji koeficijent uzemljenja zvjezdišta može prijeći 80%). On se ne primjenjuje za mreže s najvišim pogonskim naponom 420 kV (i 300 kV prema IEC), a za mreže s najvišim pogonskim naponom 245 kV samo izuzetno.

7) Smanjeni stupanj izolacije (za mreže sa direktno uzemljenim zvjezdištem čiji koeficijent izolacije ne prelazi 80%).

8) Ovaj stupanj izolacije odgovara potpuno stupnju izolacije prema IEC za mreže s najvišim pogonskim naponom 36 kV, jer su ispitni naponi posve jednaki. JUS prema tome u ovom izolacionom nivou dopušta pogonski napon za 2 kV viši nego IEC uz isti stupanj izolacije. To je učinjeno stoga što je prema JUS nazivni napon mreža 35 kV (vidi 42a), dok je prema IEC 30 ili 33 kV.

9) Ove vrijednosti JUS još ne utvrđuje. IEC propisuje 630, odnosno 1425 kV.

10) U ovom izolacionom nivou IEC dopušta kao najviši napon 36 kV, prema 38 kV koliko dopušta JUS, vidi 8).

45 Nazivni naponi, najviši pogonski naponi i ispitni naponi prema VDE[1])

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Nazivni (redni) napon[2])	Najviši pogonski napon[3])	Zaštitni nivo odvodnika	Izolacioni nivo prema udarnim naponima**[4])		Ispitni izmjenični napon 1min[5]) za izolacione grupe				
			donji za val 1/50 μs	gornji za odrezani val	A rastavišta rastavljača i sl.	C izolatori i aparati v. n.	D trafoi, kondenzatori i sl.	E kabeli	F izolatori za nadzemne vodove
kV	kV	kV	kV	kV	kV	kV	kV	kV	kV
1	1,15	5	20	23	15	10	3,5		—
3	3,5	13	45	52	25	27	10	6	21
6[6])	7	26	60	70	35	33	20	11	27
10	11,5	40	75	85	45	42	30	17	35
15[7])	17,5	(60)	95	(110)	60	53	40	25	45
20	23	80	125	145	75	64	50	30	55
30[8])	35	120	170	195	100	86	70	5	75
45[9])	52	175	250	290	145	119	90	70	105
60	70	235	325	375	190	152	120	90	140
110z*	125	330	450	520	250	210	175		185
110	125	415	550	630	310	262	220		230
150z*	170	450	650	750	370	280	240		275
150	170	565	750	860	440	350	300		325
220z*	250	660	900	1040	535	405	355		395
220	250	825	1050	1200	620	505	440		460
300z*	330	875	1150	1320	750	545	480		510
380z*	420	1110	1425	1640	900	750	640		630

Donji izolacioni nivo odnosi se na izolaciju u zraku između vodiča pod naponom i zemlje. Udarnim naponom prema stupcu 4 ispituju se npr. potporni i provodni izolatori te izolatori za nadzemne vodove, zatim učinske sklopke, rastavišta učinskih sklopaka, rastavljači, pa i (ali samo po posebnom sporazumu proizvođača i kupca) energ. i mjerni transformatori te kondenzatori.

Gornji izolacioni nivo odnosi se na izolaciju od krutog, tekućeg ili stlačenog materijala (npr. unutarnja izolacija transformatora, kabela i kondenzatora) kao i na sve zatvorene ili teško pristupačne preskočne staze u zraku, na prekidna mjesta rastavljača, učinskih rastavljača, teretnih sklopaka, nosača osigurača i sl., nadalje na međusobnu izolaciju odvojenih mreža. Izuzetak su specijalni kabeli kao i kabeli iznad 60 kV. Udarnim valom prema stupcu 5 smiju se ispitivati samo modeli energetskih i mjernih transformatora i kondenzatora.

Grupa A: Otvorena rastavišta rastavljača, rastavnih latica učinskih rastavljača, teretnih rastavljača i nosača osigurača.

Grupa C: Izolatori za nadzemne vodove (osim željezničkih, izolatori za pogonske naprave, aparati visokog napona (sklopke, rastavljači, provodni i potporni izolatori i sl.), kućišta prenaponskih odvodnika, kondenzatori za zaštitu od prenapona i sprežni kondenzatori, kratkospojne prigušnice, mjerni transformatori (strujni i dvopolno odn. tropolno izolirani naponski), izolatori za željeznice izmjenične struje ako je jedan vodič uzemljen.

Grupa D: Energetski transformatori, jednopolno izolirani naponski mjerni transformatori, kondenzatori za popravak snage, usmjerivači, komandni (i neki sklopni) aparati prema VDE 0660.

---

* Za postrojenja s kruto uzemljenim zvjezdištem.

** Za postrojenja 20 kV ili više bez kruto uzemljenog zvjezdišta VDE dopušta da se donji izolacioni nivo smanji do vrijednosti stupca 3, a gornji izol. nivo prekidnih mjesta rastavljača i sl. do 115% tih vrijednosti, ako je postrojenje tako izvedeno ili smješteno da se prenaponi veći od stupca 3 ne očekuju ili ako je zaštitnim mjerama zaštitni nivo postrojenja odgovrajuće smanjen. Aparati s tako smanjenom izolacijom dobivaju dodatnu oznaku m (npr. 110 m).

[1]) do [9]) vidi na narednoj strani.

Grupa E: Kabeli i izolirani vodovi (ako se ne ispituju istosmjernom strujom), osim željezničkih. (Za ove ima posebna grupa E_0 koja ovdje nije navedena.)
Grupa F: Izolatori za nadzemne vodove.

Novi propisi VDE 0111/2.61 znatno se razlikuju od ranijih propisa VDE 0111/4.58.

Osnovna razlika je u tome što novi propisi VDE uvode nove redne napone sa znatno ublaženim udarnim ispitnim naponima. Redni naponi prema tablici lijevo imaju oznaku N ako nultačka mreže nije kruto uzemljena odnosno NE ako je nultačka kruto uzemljena (npr. 110 N odn. 110 NE). To je normalni red (Normalreihe). **Osim toga sada se uvodi specijalni red (Sonderreihe) s oznakama S (ne kruto uzemljena nultačka). Ovaj specijalni red ima jednake izmjenične ispitne napone kao normalni red, ali niži izolacioni nivo prema udarnim naponima, npr.**

Redni napon		kV	S 10	S 20	S 30	S 60	SE 110	S 110	SE 220
Izolacioni nivo	gornji	kV	60	95	145	250	375	450	750
za 1/50 μs	donji	kV	70	110	170	290	430	520	860

Naprave izolirane prema S odn. SE smiju se upotrijebiti ako su izrađene ili zaštićene tako da nastali vanjski prenaponi neće prijeći izolacione nivoe. To su naprave priključene na kabelsku mrežu, ili priključene na nadzemni vod ali preko dovoljno dugačkog kabela, ili priključene na nadzemni vod, ali zaštićene prikladnim ventilnim odvodnicima prenapona.

Promjena prema ranijim propisima je i u tome da su izmijenjeni ispitni izmjenični naponi, naročito za grupu A (gdje su znatno ublaženi).

---

1) Prema VDE 0111/2.61 (»Smjernice za odmjeravanje i ispitivanje izolacije el. postrojenja za izmjenične napone od 1 kV naviše«).

2) VDE pravi razliku između nazivnog i rednog napona (vidi VDE 0176/7.53 »Nazivni i redni naponi od 100 V do 380 kV«). Nazivni napon je napon po kojem se neka naprava ili mreža naziva. Redni napon je onaj standardizirani napon prema kojem je odmjerena izolacija neke pogonske naprave. VDE 0176/7.53 obuhvata (ali ne preporučuje) i nazivne napone 5 i 25 kV, ali su pripadni redni naponi 6 (odnosno 10) i 30 kV.

3) Definiran slično kao najviši napon mreže prema JUS i IEC.

4) Navedeni naponi su tjemene vrijednosti podnosivih napona. Pri ispitivanju donjeg izolacionog nivoa treba narinuti pozitivni ili negativni udarni val 1/50 mikrosek. Izolacija je zadovoljila ako kod 5 udara ne dođe do preskoka ili ako samo jednom dođe do preskoka, ali kod daljnjih 5 udara ne dođe do preskoka. Pri ispitivanju gornjeg izolacionog nivoa treba narinuti 6 udarnih valova negativne polarnosti ovim redom:

— 2 puna udarna vala 1/50 mikrosek. čija se tjemena vrijednost poklapa s vrijednosti iz stupca 4 tablice na strani 110.

— 2 odrezana udarna vala čija se tjemena vrijednost poklapa s vrijednošću iz stupca 5 tablice na strani 110, ali je paralelno iskrište na ispitivanom aparatu udešeno tako da probije u razmaku od 2 do 4 mikrosekunde.

— 2 puna udarna vala 1/50 mikrosek. čija se tjemena vrijednost poklapa s vrijednošću iz stupca 4 tablice na strani 110; iskrište je pritom razmaknuto da ne može probiti.

Ni kod jednog od navedenih 6 udara ne smije doći do preskoka odn. proboja u unutrašnjosti ispitivane naprave.

Ispitivanje na udar je tipsko ispitivanje te se izvodi samo prema posebnom sporazumu između proizvođača i kupca. Gornji izolacioni nivo na energetskim i naponskim transformatorima te na kondenzatorima smije se ispitati samo na modelu.

5) Vrijednosti u tablici su efektivne vrijednosti podnosivih napona koje izolacija mora izdržati prema masi za vrijeme 1 min (ako nije posebnim propisima propisano dulje trajanje ispitivanja). Za namote transformatora i prigušnica sa stupnjevanom izolacijom frekvencija se može po potrebi povisiti. Pri ispitivanju treba, počevši od 50% ispitnog napona, povisivati napon kontinuirano ili u stupnjevima od najviše 5% ispitnog napona sve do punog napona; vrijeme povisivanja napona ne smije biti kraće od 10 s. Izolatori za nadzemne vodove ispituju se naponom prema stupcu 8 po kiši.

6) Red 6 smije se upotrijebiti samo za željezničke transformatore te za zatvorene i oklopljene naprave, kao i za komandne naprave. Inače treba za postrojenja 6 kV upotrijebiti aparate reda 10.

7) Grupa C samo na nadzemne vodove, grupa D samo za željezničke transformatore; inače treba upotrijebiti aparate reda 20.

8) Privremeno dopušteno i za postojeća postrojenja 35 kV.

9) Privremeno dopušteno i za postojeća postrojenja 50 kV.

46 Nazivni naponi do 100 V

prema propisima VDE 0175/4.57*

*Preporučljivi niz: 2 — 4 — 6 — 12 — 24 — 40** — 60 — 80 V*
Za pojedine svrhe:
Za rasvjetu napajanu iz suhih elemenata: 1,5 – 2,5 — 3,5 V
Za rasvjetu napajanu iz akumulatora, generatora i transformatora: 2 — 2,5 — 4 — 6 — 8 — 12 — 24 — 40 — 60 — 80 V.
Za trošila priključena na transformatore za zvonca: 2 — 4 — 6 V.
Za električne igračke: 2 — 4 — 6 — 20 – 24 V.
Za obrtničke male motore: 12 — 24 — 40 — 60 V.
Za elektrokare i sl.: 24 — 40 — 80 V.
Za rudničke lokomotive: 60 — 72 — 80 — 96 V.
Za elektrotermičke aparate: 12 — 24 — 40 V.
Za elektromedicinske aparate: 2 — 2,5 — 3,5 — 4 — 6 — 8 — 12 V.
Za talekomunikacije: 1,5 — 2 — 4 — 6 — 12 — 20 — 24 — 40 — 48 — 60 — 80 V.
Za zaštitne i regulacione uređaje: 24 — 60 V.

47 a Standardne nazivne struje prema IEC

(prema publikaciji IEC-a br. 59/1938)

Standardne struje jesu: 1 — 1,25 — 1,6 — 2 — 2,5 — 3,15 — 4 — 5 — 6,3 — 8 — 10 A te umnošci ovih vrijednosti sa 10, 100 i 1000.
Izuzetno se dopušta i ovaj niz: 1,5 — 3 — 6 — 7,5 A te umnošci ovih vrijednosti s 10, 100 i 1000.

47 b Standardne nazivne struje prema VDE

1. Za instalacioni materijal niskog napona (VDE 0660/4.62): 6 — 10 — 15 — 25 — 40 — 60 — 100 — 200 — 400 — 600 — 1000 — 2000 — 3000 — — 4000 — 6000 A.
2. Za utičnice, utikače, natičnice i natikače n. n. (VDE 0620/10.61): 6[1]) — 10 — 15 — 25 — 40[2]) — 60 — 100 A.
3. Za sklopke n. n. (VDE 0632/12.60): 1 — 2 — 4 — 6 — 10 — 15 — 25 — — 60 A.
4. Za uloške rastalnih osigurača n. n. za vodove (VDE 0635/3.63): 2 — 4 — 6 — 10 — 16 — 20 — 25 — 35 — 50 — 63 — 80 — 100 — 125 — 160 — 200 A.
5. Za rastalne uloške NH-osigurača (VDE 0660/4.62): 35 — 60 — 80 — 100 — 125 — 160 — 200 — 225 — 260 — 300 — 350 — 430 — 500 — 600 A.
6. Za jednopolne vodne zaštitne sklopke (automate) n. n. (VDE 0641/2.60): (6) — 10 — 15 — 20 — 25 A. Nazivnu struju 6 A valja izbjegavati.
7. Za elemente postrojenja v. n. (npr. učinske sklopke, rastavljače, provodne izolatore (VDE 0670/1.54): 200 — 400 — 600 — 1000 — 2000 — 4000 — — 6000 A.
8. Za osigurače v. n. (VDE 0670/1.54): 2 — 4 — 6 — 15 — 20 — 30 — — 40 — 60 — 75 — 100 — 150 — 200 — 300 — 400 — 600 A.
9. Za primarne okidače i releje (VDE 0670/1.54): 6 — 10 — 20 — 40 — — 60 — 100 — 200 — 400 — 600 — 1000 A.
10. Za sekundarne releje (VDE 0670/1.54): 5 A i 1 A.
11. Za strujne mjerne transformatore: Vidi 370.

---

* Jugoslavenskog standarda još nema, a preporuke IEC su zastarjele.
** Za izmjeničnu struju i 42 V.
[1]) Nedopušteno za zidne utičnice, spojne utičnice, ovratne utične naprave prema DIN 49450 i 49451 te za utične naprave termičkih aparata.
[2]) Ova nazivna struja vrijedi samo za ovratne utične naprave.

Struja u A po kilovatu kod trofaznog sistema

48a

cos φ	Linijski napon u voltima								
	110	220	380	400	500	3000	3150	5000	5250
1	5,25	2,62	1,52	1,44	1,15	0,192	0,183	0,115	0,110
0,95	5,52	2,76	1,60	1,52	1,21	0,202	0,193	0,122	0,116
0,90	5,83	2,91	1,69	1,60	1,28	0,214	0,204	0,128	0,122
0,85	6,18	3,09	1,79	1,70	1,36	0,226	0,216	0,136	0,129
0,80	6,56	3,28	1,90	1,80	1,44	0,240	0,229	0,144	0,137
0,75	7,00	3,50	2,02	1,92	1,54	0,257	0,244	0,154	0,146
0,70	7,50	3,75	2,17	2,06	1,65	0,275	0,262	0,165	0,157
0,65	8,08	4,04	2,34	2,22	1,78	0,296	0,282	0,178	0,169
0,60	8,75	4,37	2,53	2,40	1,92	0,321	0,305	0,192	0,183
0,55	9,55	4,77	2,76	2,62	2,10	0,350	0,333	0,210	0,200
0,50	10,50	5,25	3,04	2,88	2,31	0,385	0,366	0,231	0,220
0,45	11,66	5,83	3,38	3,20	2,56	0,428	0,407	0,257	0,244
0,40	13,12	6,56	3,80	3,60	2,88	0,481	0,458	0,289	0,274

Primjer:

Kod trofazne snage 12 kW kod 380 V i cos φ = 0,65 iznosi struja 2,34 · 12 = 28,1 A.

Struja u A po 100 kW kod trofaznog sistema

48 b

cos φ	Linijski napon u kilovoltima									
	6	6,3	10	10,5	15	15,75	20	21	30	35
1	9,6	9,2	5,77	5,50	3,85	3,66	2,89	2,75	1,92	1,65
0,95	10,1	9,6	6,08	5,79	4,05	3,86	3,04	2,89	2,02	1,74
0,90	10,7	10,2	6,41	6,11	4,28	4,07	3,21	3,05	2,14	1,83
0,85	11,3	10,8	6,79	6,46	4,53	4,31	3,40	3,23	2,26	1,94
0,80	12,0	11,5	7,22	6,87	4,81	4,58	3,61	3,43	2,40	2,06
0,75	12,8	12,2	7,70	7,33	5,13	4,89	3,85	3,66	2,57	2,20
0,70	13,7	13,1	8,25	7,85	5,50	5,23	4,13	3,93	2,75	2,36
0,65	14,8	14,1	8,88	8,46	5,92	5,64	4,44	4,23	2,96	2,54
0,60	16,0	15,3	9,62	9,16	6,42	6,11	4,81	4,58	3,21	2,75
0,55	17,5	16,7	10,50	10,00	7,00	6,66	5,25	5,00	3,50	3,00
0,50	19,2	18,3	11,55	11,00	7,70	7,33	5,78	5,50	3,85	3,30
0,45	21,4	20,4	12,83	12,20	8,55	8,15	6,42	6,10	4,28	3,66
0,40	24,0	22,9	14,44	13,75	9,62	9,16	7,22	6,87	4,81	4,12

Primjer:

Kod trofazne snage 215 kW kod 10,5 kV i cos φ = 0,85 iznosi struja 6,46 · 2,15 = 13,9 A.

49 a

Struja u ovisnosti o snazi i naponu

Snaga kw	Istosmjerna struja u A kod 110 V	220 V	500 V	Trofazna struja u A i kod 110 V, cos φ = 1	0,8	0,6	190 V, cos φ = 1	0,8	0,6
1	9,1	4,5	2,0	5,2	6,6	8,7	3,0	3,8	5,1
2	18,2	9,1	4,0	11,1	13,1	17,5	6,1	7,6	10,1
3	27,3	13,6	6,0	15,7	19,7	26,2	9,1	11,4	15,2
4	36,4	18,2	8,0	21,0	26,2	35,0	12,2	15,2	20,2
5	45,4	22,7	10,0	26,2	32,8	43,7	15,2	19,0	25,3
6	54,5	27,3	12,0	31,5	39,4	52,5	18,2	22,8	30,4
7	63,6	31,8	14,0	36,7	45,9	61,2	21,3	26,6	35,4
8	72,7	36,4	16,0	42,0	52,5	70,0	24,3	30,4	40,5
9	81,8	40,9	18,0	47,2	59,0	78,7	27,3	34,2	45,5
10	90,9	45,5	20,0	52,5	65,6	87,5	30,4	38,0	50,6
11	100	50,0	22,0	57,7	72,2	96,2	33,4	41,8	55,6
12	109	54,5	24,0	63,0	78,7	105	36,4	45,6	60,7
13	118	59,1	26,0	68,2	85,3	114	39,5	49,4	65,8
14	127	63,6	28,0	73,5	91,8	122	42,6	53,2	70,8
15	136	68,2	30,0	78,7	98,4	131	45,6	57,0	75,9
16	145	72,7	32,0	84,0	105	140	48,6	60,8	81,0
17	155	77,3	34,0	89,2	112	149	51,6	64,6	86,0
18	164	81,8	36,0	94,5	118	157	54,7	68,4	91,0
19	173	86,3	38,0	99,7	125	166	57,7	72,2	96,1
20	182	90,9	40,0	105	131	175	60,8	76,0	101
22	200	100	44,0	115	144	192	66,9	83,6	111
24	218	109	48,0	126	157	210	72,9	91,2	121
26	236	118	52,0	136	170	228	79,0	98,8	132
28	255	127	56,0	147	184	245	85,1	106	142
30	273	136	60,0	157	197	262	91,2	114	152
32	291	145	64,0	168	210	280	97,3	122	162
34	309	155	68,0	178	225	297	103	129	172
36	327	164	72,0	189	236	315	109	137	182
38	345	173	76,0	199	249	332	115	144	192
40	364	182	80,0	210	262	350	122	152	202
45	409	205	90,0	236	295	396	137	171	228
50	454	227	100	262	328	437	152	190	253
55	500	250	110	289	361	481	167	209	278
60	545	273	120	315	394	525	182	228	304
65	591	295	130	341	427	569	198	247	329
70	636	318	140	367	459	612	213	266	354
75	682	341	150	394	492	656	228	285	380
80	727	364	160	420	525	700	243	304	405
85	773	386	170	446	557	744	258	323	430
90	818	409	180	477	590	787	273	342	456
95	864	432	190	499	623	831	288	361	481
100	909	455	200	525	656	875	304	380	506

Vidi primjedbe na strani 116.

Trofazna struja u ovisnosti o snazi i naponu (nastavak)

Snaga kW	Trofazna struja u A kod								
	220 V, cos φ =			380 V, cos φ =			500 V, cos φ =		
	1	0,8	0,6	1	0,8	0,6	1	0,8	0,6
1	2,6	3,3	4,4	1,5	1,9	2,5	1,2	1,4	1,9
2	5,2	6,6	8,8	3,0	3,8	5,1	2,3	2,9	3,8
3	7,9	9,8	13,1	4,6	5,7	7,6	3,5	4,3	5,8
4	10,5	13,1	17,5	6,1	7,6	10,1	4,6	5,8	7,7
5	13,1	16,4	21,9	7,6	9,5	12,7	5,8	7,2	9,6
6	15,8	19,7	26,2	9,1	11,4	15,2	6,9	8,7	11,5
7	18,4	23,0	30,6	10,6	13,3	17,7	8,1	10,1	13,5
8	21,0	26,3	35,0	12,2	15,2	20,4	9,2	11,5	15,4
9	23,6	29,5	39,3	13,7	17,1	22,8	10,4	13,0	17,3
10	26,2	32,8	43,8	15,2	19,0	25,3	11,5	14,4	19,2
11	28,9	36,1	48,1	16,7	20,9	27,8	12,7	15,9	21,2
12	31,5	39,4	52,5	18,2	22,8	30,4	13,9	17,3	23,1
13	34,1	42,7	56,5	19,8	24,7	32,9	15,0	18,8	25,0
14	36,7	45,9	61,0	21,3	26,6	35,4	16,2	20,2	26,9
15	39,4	49,2	65,5	22,8	28,5	38,0	17,3	21,7	28,8
16	42,0	52,5	70,0	24,3	30,4	40,5	18,5	23,1	30,8
17	44,6	56,0	74,5	25,8	32,3	43,0	19,6	24,5	32,7
18	47,2	59,0	78,5	27,4	34,2	45,5	20,8	26,0	34,6
19	49,9	62,4	83,2	28,9	36,1	48,1	22,0	27,4	36,5
20	52,5	65,6	87,5	30,4	38,0	50,6	23,1	28,9	38,5
22	57,8	72,2	96,3	33,5	41,8	55,7	25,4	31,8	42,3
24	63,0	78,8	105	36,5	45,6	60,7	27,7	34,7	46,1
26	68,3	85,4	114	39,5	49,4	65,8	30,1	37,5	50,0
28	73,5	91,9	123	42,6	53,2	70,9	32,4	40,4	53,8
30	78,7	98,5	131	45,6	57,0	76,0	34,7	43,3	57,7
32	84,0	105	140	48,7	60,8	81,0	37,0	46,2	61,5
34	89,3	112	148	51,7	64,6	86,1	39,3	49,1	65,3
36	94,6	118	158	54,8	68,4	91,2	41,6	52,0	69,2
38	99,8	125	166	57,8	72,2	96,2	43,9	54,9	73,1
40	105	131	175	60,8	76,0	101	46,2	57,8	76,9
45	118	148	198	68,4	85,5	114	52,0	65,0	86,6
50	131	164	219	76,0	95,0	127	57,8	72,2	96,2
55	144	181	240	83,7	104	139	63,6	79,4	106
60	158	197	262	91,3	114	152	69,4	86,6	116
65	171	213	284	98,9	123	165	75,1	93,9	125
70	184	230	306	106	133	177	80,9	101	135
75	197	246	328	114	142	189	86,7	108	144
80	210	263	350	122	152	202	92,5	115	154
85	223	279	372	129	162	214	98,3	123	163
90	236	295	393	137	171	227	104	130	173
95	250	312	416	144	180	240	110	137	183
100	263	328	438	152	190	253	116	144	193

Vidi primjedbe na strani 116.

49 c Trofazna struja u ovisnosti o snazi i naponu (nastavak)

Snaga kW	Struja u A kod napona							
	3 kV, cos φ =		5 kV, cos φ =		6 kV, cos φ =		10 kV, cos φ =	
	1	0,8	1	0,8	1	0,8	1	0,8
5	1,0	1,2	0,6	0,7	0,5	0,6	0,3	0,4
10	1,9	2,4	1,2	1,4	1,0	1,2	0,6	0,7
15	2,9	3,6	1,7	2,2	1,4	1,8	0,9	1,1
20	3,8	4,8	2,3	2,9	1,9	2,4	1,2	1,4
30	5,8	7,2	3,5	4,3	2,9	3,6	1,7	2,2
40	7,7	9,6	4,6	5,8	3,8	4,8	2,3	2,9
50	9,6	12,0	5,8	7,2	4,9	6,0	2,9	3,6
60	11,5	14,4	6,9	8,7	5,8	7,2	3,5	4,3
70	13,5	16,8	8,1	10,1	6,7	8,4	4,0	5,0
75	14,4	18,0	8,7	10,8	7,2	9,0	4,3	5,4
80	15,4	19,2	9,3	11,5	7,7	9,6	4,6	5,8
90	17,3	21,6	10,4	13,0	8,7	10,8	5,2	6,5
100	19,3	24,1	11,5	14,4	9,6	12,0	5,8	7,2
200	38,5	48,1	23,1	28,9	19,2	24,1	11,5	14,4
250	48,1	60,1	28,9	36,1	24,0	30,1	14,4	18,0
300	57,7	72,2	34,6	43,3	28,8	36,1	17,3	21,6
400	77,0	96,2	46,2	57,7	38,5	48,1	23,1	28,9
500	96,2	120,3	57,8	72,2	48,1	60,2	28,9	36,0
600	115,5	144,3	69,4	86,6	57,7	72,2	34,6	43,3
700	134,7	168,4	80,9	101,0	67,4	84,2	40,4	50,5
800	154,0	192,4	92,5	115,5	77,0	96,2	46,2	57,7
900	173,2	216,5	104,0	129,9	86,6	108,2	52,0	64,9
1000	192,5	240,6	115,5	144,3	96,2	120,3	57,7	72,2
2000	385,0	481,1	230,9	288,7	192,5	240,5	115,4	144,3
2500	481,1	601,4	288,7	360,8	240,5	300,7	144,3	180,4
3000	577,3	721,7	346,4	433,0	288,7	360,8	173,2	216,5
4000	769,8	962,2	461,9	577,3	384,9	481,1	230,9	288,7

Primjedbe:

1. Ove su tablice izračunate po formuli $I = \frac{P}{\sqrt{3} U \cos\varphi}$ gdje je I - struja u *amperima*, P - *snaga* u *kilovatima*, U - napon u kilovoltima (linijski).

2. Iznalaženje struje kod snaga koje nisu navedene u tablici, npr. 325 kW, 10 kV, $\cos\varphi = 1$: Struja kod 300 kW iznosi 17,3 A, kod 20 kW 1,2 A, a kod 5 kW 0,3 A. Kod 325 kW struja = 17,3 + 1,2 + 0,3 = 18,8 A.

3. Iznalaženje struje kod napona koji nisu navedeni u tablici, npr. 200 kW, 10,5 kV, $\cos\varphi = 0{,}8$: Broj iz tablice za najbliži napon treba pomnožiti omjerom napona U_T/U gdje je U_T najbliži napon iz tablice, a U zadani napon. Za 200 kW, 10,5 kV, $\cos\varphi = 0{,}8$ dobijemo: $14{,}4\ \text{A} \cdot \frac{10}{10{,}5} = 13{,}7\ \text{A}$.

4. Kod $\cos\varphi$ različitih od 1 i 0,8 treba struju za $\cos\varphi = 1$ razdijeliti sa zadanim $\cos\varphi$.

Trofazna struja u ovisnosti o snazi i naponu (nastavak) **49 d**

Snaga kW	Struja u A kod napona							
	15 kV, cos φ =		20 kV, cos φ =		30 kV, cos φ =		35 kV, cos φ =	
	1	0,8	1	0,8	1	0,8	1	0,8
10	0,38	0,48	0,29	0,36	0,19	0,24	0,16	0,21
20	0,77	0,96	0,58	0,72	0,38	0,48	0,33	0,41
30	1,15	1,44	0,87	1,08	0,58	0,72	0,49	0,62
50	1,92	2,40	1,44	1,80	0,96	1,20	0,82	1,03
75	2,88	3,60	2,16	2,71	1,44	1,80	1,24	1,55
100	3,84	4,80	2,89	3,61	1,93	2,41	1,65	2,06
200	7,68	9,61	5,77	7,22	3,85	4,81	3,30	4,12
250	9,60	12,0	7,22	9,03	4,81	6,01	4,12	5,15
300	11,5	14,4	8,66	10,8	5,77	7,22	4,95	6,19
400	15,4	19,2	11,6	14,4	7,70	9,62	6,60	8,25
500	19,2	24,0	14,4	18,0	9,62	12,0	8,25	10,3
600	23,0	28,8	17,3	21,7	11,6	14,4	9,90	12,4
700	26,9	33,6	20,2	25,3	13,5	16,8	11,6	14,4
800	30,7	38,4	23,1	28,9	15,4	19,2	13,2	16,5
900	34,6	43,2	26,0	32,5	17,3	21,7	14,8	18,6
1000	38,4	48,0	28,9	36,1	19,3	24,1	16,5	20,6
2000	76,8	96,1	57,7	72,2	38,5	48,1	33,0	41,2
2500	96,0	120,0	72,2	90,3	48,1	60,1	41,2	51,5
3000	115,3	144,1	86,6	108,3	57,7	72,2	49,5	61,9
4000	153,7	192,1	115,5	144,3	77,0	96,2	66,0	82,5
5000	192,1	240,1	144,3	180,4	96,2	120,3	82,5	103,1
6000	230,5	288,2	173,2	216,5	115,5	144,3	99,0	123,7
7000	269,0	336,2	202,1	252,6	134,7	168,4	115,5	144,3
8000	307,3	384,2	230,9	288,7	154,0	192,4	132,2	165,0
9000	345,8	432,3	259,8	324,8	173,2	216,5	148,5	185,6
10000	384,2	480,3	288,7	360,8	192,5	240,6	165,0	206,2

Vidi primjedbe na strani 116.

Trofazna struja za napone 50, 60 i 110 kV **49 e**

u ovisnosti o snazi

1. **Za napone 50 i 60 kV** struja se dobije iz tablice **49c** tako da se vrijednosti kod 5 odn. 6 kV podijele s 10.

2. **Za napone 110 kV** struja je jednaka kao u tablici **49a** za 110 V, samo što vrijednosti u stupcu 1 treba smatrati megavatima, a ne kilovatima.

50 Snaga u kW u ovisnosti o struji i naponu

Struja A	Istosmjerna struja			Trofazna struja							
	110 V	220 V	500 V	110 V, cos φ = 1	110 V, cos φ = 0,8	220 V, cos φ = 1	220 V, cos φ = 0,8	380 V, cos φ = 1	380 V, cos φ = 0,8	500 V, cos φ = 1	500 V, cos φ = 0,8
1	0,11	0,22	0,50	0,19	0,15	0,38	0,30	0,66	0,53	0,87	0,69
10	1,10	2,20	5,00	1,91	1,52	3,81	3,04	6,57	5,26	8,65	6,92
11	1,21	2,42	5,50	2,10	1,68	4,19	3,35	7,23	5,78	9,51	7,61
12	1,32	2,64	6,00	2,28	1,83	4,57	3,65	7,89	6,31	10,4	8,30
13	1,43	2,86	6,50	2,48	1,98	4,95	3,96	8,55	6,84	11,2	9,00
14	1,54	3,08	7,00	2,67	2,14	5,33	4,26	9,20	7,36	12,1	9,69
15	1,65	3,30	7,50	2,86	2,29	5,71	4,57	9,86	7,89	13,0	10,4
16	1,76	3,52	8,00	3,05	2,44	6,09	4,87	10,5	8,41	13,8	11,1
17	1,87	3,74	8,50	3,24	2,59	6,47	5,18	11,2	8,94	14,7	11,8
18	1,98	3,96	9,00	3,43	2,74	6,85	5,48	11,8	9,47	15,6	12,5
19	2,09	4,18	9,50	3,62	2,90	7,23	5,78	12,5	9,99	16,4	13,1
20	2,20	4,40	10,00	3,81	3,05	7,61	6,09	13,1	10,5	17,3	13,8
22	2,42	4,84	11,00	4,19	3,35	8,37	6,70	14,5	11,6	19,0	15,2
24	2,64	5,28	12,00	4,57	3,66	9,13	7,31	15,8	12,6	20,8	16,6
26	2,86	5,72	13,00	4,95	3,96	9,90	7,92	17,1	13,7	22,5	18,0
28	3,08	6,16	14,00	5,34	4,27	10,7	8,52	18,4	14,7	24,2	19,4
30	3,30	6,60	15,00	5,72	4,57	11,4	9,13	19,7	15,8	25,9	20,8
32	3,52	7,04	16,00	6,10	4,88	12,2	9,74	21,0	16,8	27,7	22,1
35	3,85	7,70	17,50	6,67	5,34	13,3	10,6	23,0	18,4	30,2	24,2
40	4,40	8,80	20,00	7,62	6,10	15,2	12,2	26,3	21,0	34,6	27,7
45	4,95	9,90	22,50	8,57	6,86	17,1	13,7	29,6	23,7	38,9	31,1
50	5,50	11,00	25,00	9,52	7,62	19,0	15,2	32,9	26,3	43,2	34,6
55	6,05	12,10	27,50	10,5	8,39	20,9	16,7	36,2	28,9	47,6	38,1
60	6,60	13,20	30,00	11,4	9,15	22,8	18,3	39,4	31,6	51,9	41,5
65	7,15	14,30	32,50	12,4	9,91	24,7	19,8	42,7	34,2	56,2	45,0
70	7,70	15,40	35,00	13,3	10,7	26,6	21,3	46,0	36,8	60,5	48,4
75	8,25	16,50	37,50	14,3	11,4	28,5	22,8	49,3	39,4	64,9	51,9
80	8,80	17,60	40,00	15,2	12,2	30,4	24,4	52,6	42,1	69,2	55,4
85	9,35	18,70	42,50	16,2	13,0	32,3	25,9	55,9	44,7	73,5	58,8
90	9,90	19,80	45,00	17,1	13,7	34,2	27,4	59,2	47,3	77,8	62,3
95	10,45	20,90	47,50	18,1	14,5	36,2	28,9	62,4	50,0	82,2	65,7
100	11,00	22,00	50,00	19,1	15,2	38,1	30,4	65,7	52,6	86,5	69,2

Primjedba:

Ako je struja manja od 10 A ili veća od 100 A, treba u tablici potražiti 10 puta veću odnosno 10 puta manju struju, pa snagu iz tablice za struju podijeliti odnosno pomnožiti s 10. Npr. a) Kod 3,5 A, 380 V, cos φ = 0,8 dobijemo za 35 A iz tablice 18,4 kW. Kod 3,5 A iznosi snaga 18,4 : 10 = 1,84 kW. b) Kod 140 A, 500 V, cos φ = 1 dobijemo za 14 A iz tablice 12,1 kW, pa snaga kod 140 A iznosi 12,1 · 10 = 121 kW.

Najviše dozvoljene temperature dijelova električkih postrojenja **51**

(Uglavnom prema »Elektrotehničeskom spravočniku« i VDE)

1.	*Dijelovi koji vode struju, neizolirani i ne u vezi s izolacionim materijalima: temperatura ovih dijelova ne smije ugrožavati susjedne namote i ostale dijelove.*	
2.	Dijelovi koji vode struju, izolirani ili u vezi s izolacionim materijalima: najviša dozvoljena temperatura dotičnog izolacionog materijala *(vidi tablice* **111, 125, 160** **a), b)** *i* **c)**[1])	
3.	Četkasti ili čepni kontakti od bakra i njegovih slitina . . .	70° C
4.	Kontaktni spojevi	75° C
5.	Klizni i tlačni masivni kontakti od bakra i njegovih legura . .	110° C
6.	Isto no s privarenim ili prilemljenim pločicama od srebra . .	120° C
7.	Kontakti osigurača visokog napona	100° C
7a.	Keramički dijelovi osigurača visokog napona	200° C
7b.	Dijelovi osigurača od papira ili vlaknatih tvari	100° C
8.	*Namoti i ostali dijelovi električkih strojeva:* vidi **125**	
8a.	Namoti transformatora: vidi **160 a), b) i c)**	
9.	Klizni ležajevi te valjkasti ležajevi mazani običnim mazivom .	85° C
10.	Kuglični i valjkasti ležajevi mašćeni specijalnim mastima . .	95° C
11.	Ležajevi turbogeneratora	80° C
12.	*Ulje u gornjim slojevima u kotlu transformatora i u uljnim* sklopkama niskog napona	95° C
13.	Ulje u gornjim slojevima uljnih sklopki visokog napona . .	75° C
14.	Ulje između otpornih elemenata otpornika	115° C
15.	Goli vodiči i šinje od bakra i aluminija *i njihovih legura* . .	90° C
16.	Goli vodiči i šinje od čelika	70° C
17.	Izolirani vodovi od gume 60° C, od termoplastika	70° C
18.	Kućišta elektro-alata i aparata s elektromotornim pogonom .	85° C
19.	Ručke elektro-alata kućanskih aparata od metala	55° C
19a.	Ručke elektro-alata od ostalih materijala	75° C
19b.	Ručke glačala od drveta ili prešanog materijala	70° C
20.	Obične priključne stezaljke	65° C
20a.	Priključne stezaljke termičkih aparata	120° C
21.	Svornjaci običnih utikača i natičnica	65° C
21a.	Svornjaci natičnica termičkih aparata	120° C
22.	Površina na koju se postavlja ili pričvršćuje termički aparat .	90° C

P r i m j e d b a : Navedene se temperature odnose na normalni pogon. U kratkom spoju temperatura smije dostići vrijednosti prema **290**, tačka 2 (str. 473).

* *Pazi!* Temperatura vodiča nadzemnih vodova, kao i svih onih vodiča koji su tvrdo vučeni i ne *smiju izgubiti svoju* čvrstoću, ne smije nikada, pa ni kod kratkog spoja, postići vrijednosti navedene u primjedbi. Prema knjizi P. Behrens i dr., (izdanje Tehničke knjige, Zagreb 1959, vidi str. 217 i dalje) temperatura kod koje materijal još ne gubi čvrstoću iznosi: za bakar 170° C, za aluminij 130° C, za aldrej 155° C, za alučel 130° C. Tvrdo vučeni bakar već pri 240° C gubi oko 20% svoje čvrstoće, a pri 290° C čvrstoća mu postaje jednaka čvrstoći mekog prežarenog bakra. Aluminij već pri 210° C gubi 20% čvrstoće, a pri 250° C postaje mekan. Ako i kod najkraćih kratkih spojeva temperatura prijeđe navedene granice, materijal gubi čvrstoću (jer se polako hladi).

---

[1]) Kod elektr. strojeva i transformatora mjeri se, međutim, metodom mjerenja otpora s r e d n j a temperatura namota, a ta mora biti nekoliko stupnjeva (5–10° C) niža od najviše dozvoljene temperature izolacionog materijala jer temperatura namota na najnepovoljnijem mjestu može biti viša od srednje temperature namota.

52

Vrsti mehaničke zaštite električnih naprava

1. Vrsti obične zaštite (prema DIN 40 050/10.60)

Obična mehanička zaštita štiti električku napravu (npr. elektromotor) od dodira, upadanja stranih tijela i vode. Vrst zaštite označuje se slovom P (prema francuskom i engleskom protectión — zaštita) i s 2 brojke, npr. P 21.

P r v a b r o j k a označuje zaštitu od dodira i od prodiranja stranih tijela.

0 — dijelovi pod naponom i unutarnji dijelovi nisu zaštićeni od dodira ni od upada stranih tijela.

1 — zaštita od dodira rukom na velikoj površini i od prodiranja stranih tijela većih od 50 mm.

2 — zaštita od dodira prstima i od prodiranja stranih tijela većih od 8 mm.

3 — zaštita od dodira pomoću alata ili sličnog i od prodiranja čelične žice od 1 mm ili više.

4 — zaštita od dodira pomoću pomagala makar koje vrsti i od skupljanja štetne prašine u unutrašnjosti (prodiranje prašine nije posve spriječeno; ona se može skupljati na neškodljivim mjestima).

5 — zaštita od dodira kao pod 4 i potpuna zaštita protiv prašine.

D r u g a b r o j k a označuje zaštitu od vode

0 — nema zaštite

1 — zaštita od kapanja: dijelovi pod naponom i unutarnji pokretni dijelovi zaštićeni su od okomitog kapanja vode.

2 — zaštita od prskanja (od kiše): dijelovi pod naponom i unutarnji pokretni dijelovi zaštićeni su od kapljica ili mlazeva vode koji bez osobitog tlaka padaju na napravu od okomitog smjera do 30^0 prema horizontali.

3 — zaštita od bujice: dijelovi pod naponom i unutarnji pokretni dijelovi zaštićeni su od vode koja bez osobitog tlaka dolazi iz bilo kojeg smjera (dozvoljeni su ipak otvori za zračenje koji su dobro zaštićeni).

4 — zaštita od mlaza vode (otvori za zračenje su dozvoljeni ako su na prikladan način zaklonjeni).

5 — zaštita od vode pod tlakom: voda ne smije prodrijeti u stroj odn. aparat ni nakon 30 min ako je on uronjen u vodu, a u njemu je podtlak 7 m H_2O.

V r s t i z a š t i t e z a p o j e d i n e n a p r a v e

Za električne strojeve (DIN 40 050—1/10.60): P 00, 11, 12, 21, 22, 33[1]).
Samo za kućišta priključnih stezaljki: P 43 i 44.

Za sklopke (DIN 40 050—2/10.60): P 00, 10, 11, 14, 20, 22, 30, 32, 33, 43, 44, 54, 55.

Za transformatore (DIN 40 050—3/10.60): P 00, 12, 20, 21, 22, 31, 43 (stezaljke P 00), 54

Za instalacione naprave (DIN 40 050—4/10.60): P 00, 20, 21, 30, 31, 44, 55

Za usmjerivače od poluvodiča (Din 40 050—5/10.60): P 00, 20. 21, 22, 43 (stezaljke P 00).

---

[1])Kod površinski hlađenih strojeva zakriljenje ventilatora na usisnoj strani mora biti barem P 1 (prva brojka), a na ispušnoj može biti P 0.

2. Zaštita od eksplozije (prema jugoslavenskim propisima*)

Naprave zaštićene od eksplozije zovu se S-naprave. Oznake jesu:

Prva oznaka

Opća oznaka za S-naprave u industriji i obrtu . . . . Se
Opća oznaka za S-naprave u rudarstvu . . . . Sb

Druga oznaka

Neprodorna oklopna zaštita (naprava je smještena u kućište koje mora a da se ne ošteti izdržati eksploziju koja bi možda nastala u njemu i spriječiti prijenos te eksplozije na vanjske plinove) . t

Zaštita pločama (dijelovi koji mogu izazvati paljenje eksplozivnih plinskih smjesa smješteni su u kućište koje ima posebne pakete zaštitnih ploča koji sprečavaju nastajanje visokih pritisaka eksplozije kao i prijenos eksplozije na eksplozivne smjese izvan kućišta) p

Uljna zaštita (opasni dijelovi smješteni su u ulju tako da se eksplozivne smjese nad uljem ne mogu zapaliti el. lukom, iskrom ili vrućim plinovima koji nastaju pod uljem; npr. za transformatore, sklopke, otpornike, pokretače i sl.) . . . . o

Prisilna ventilacija (opasni dijelovi smješteni u kućište provjetravano svježim zrakom ili nekim negorivim plinom pod pretlakom) . . v

Povećana sigurnost (kod naprava koje normalno ne iskre, a protiv izuzetnog iskrenja ili opasnih temperatura poduzete su mjere tako da naprava nije sposobna zapaliti zapaljive plinske smjese) . . s

Vlastita sigurnost (samosigurnost) (el. uređaj izrađen je tako da nijedna el. iskra koja bi mogla nastati ne može zapaliti eksplozivne smjese i

Naročita zaštita (različite naročite mjere) . . . . n

Treća oznaka

Temp. paljenja plina iznad 450° C . . . A
Temp. paljenja plina iznad 300° C . . . B
Temp. paljenja plina iznad 175° C . . . C
Temp. paljenja plina iznad 120° C . . . D

Četvrta oznaka

1. eksplozioni razred . . . 1
2. eksplozioni razred . . . 2
3. eksplozioni razred . . . 3

Eksplozioni razred	Grupa paljenja			
	A	B	C	D
1	aceton, amonijak, benzin, benzol, butan, metan, pentan, propan, toluol, zemni plin	acetaldehid, etanol	etilni eter, heksan	
2	etilen, rasvjetni plin, ugljični monoksid			
3	vodeni plin, vodik	acetilen		ugljični disulfid

Primjer potpune oznake: Se-t-A1 (Neprodorna oklopna zaštita za benzin).

* a) Privremeni propisi za izvedbu i ispitivanje uređaja sigurnih za rad u atmosferi buktavih i eksplozivnih smesa, Min. rudarstva FNRJ 1950; b) Tehn. propisi za upotrebu el. uređaja i za izvođenje el. instalacija u podzemnim rudnicima koji su ugroženi od eksplozivnih jamskih gasova, Sl. list 31/1957; c) Tehn. propisi za el. postrojenja u rudnicima sa podzemnom eksploatacijom, Sl. list 10/62; d) Tehn. propisi za el. postrojenja na nadzemnim mjestima ugroženim od eksplozivnih smjesa (prijedlog, II/1963).

53 Historijski razvoj elektrotehnike

Otkrića električkih pojava i razvoj njihove spoznaje: Oko 600. god. prije naše ere – prvi puta se spominje elektrika trenja (Thales iz Mileta), 1599. do 1603. – početak moderne elektrostatike (Gilbert), 1672. – prvo promatranje el. iskre (Leibnitz), 1729. – razlikovanje vodiča i izolatora, 1733. – razlikovanje + i – elektrike (Du Fay), 1780. – prvo opažanje galvanske elektrike (Galvani), 1785. – otkriće osnovnog elektrostatskog zakona, Coulombova zakona (Coulomb), 1800. – otkriće el. luka (Davy), 1820. – otkriće elektromagnetizma, otklon magn. igle el. strujom (*Oersted*), *1820*. – otkriće zakona elektromagnetizma i elektrodinamike (Ampère) 1821. – otkriće termoelektričkih struja (Seebeck), 1826. – formuliranje *odnosa između napona, otpora i struje, Ohmov zakon (Ohm), 1831. – otkriće* elektromagnetske indukcije (Faraday), 1833. – otkriće osnovnog zakona elektrolize (Faraday), 1840. – osnove za apsolutne električke jedinice (Weber), 1841. – otkriće zakona o toplotvornom djelovanju struje (Joule), 1842. – otkriće zakona o održanju energije (Mayer), 1847. – formuliranje pravila o grananju struje (Kirchhoff), 1856. – teorija elektrike i magnetizma (Maxwell), 1882. – otkriće rotacionog polja (Tesla), (1885. Ferraris), 1883. – elektronska teorija (Lorenz), 1887. – otkriće elektromagnetskih valova (Hertz), 1887. – teorija elektrolitičke disocijacije (Bercelius), 1891. – Tesline struje (Tesla), 1893. – otkriće foto-elektrike (Elster i Geitel), 1895. – otkriće rendgenskih zraka (Röntgen), 1905. – otkriće zakona o vezi između mase i energije (Einstein), 1948. – otkriće tranzistorskog principa (Bardeen i *Brattain*).

Električki strojevi: 1663. – elektrizacioni stroj na principu trenja (Guericke), 1831. – prvi tehnički generator (Pixii), 1835. – prvi praktički upotrebljivi elektromotor (istosmjerni) (Jakobi), 1851. – prvi stroj s vlastitom uzbudom, dakle prva primjena dinamoelektričkog principa (Jedlik), 1856. – rotor u obliku dvostrukog T (*Siemens*), *1860*. – *prstenasti* rotor (Pacinotti), 1866. – ponovno otkrivanje dinamoel. principa i početak njegova korištenja (Siemens), 1873. – prstenasti stroj s mnogo lamela (Gramme), 1878. – *cilindr. rotor (Hefner-Alteneck), 1879. – kompaundni* stroj (Brush), 1887. – trofazni motor (Tesla), 1888. – asinh. motor (Tesla), 1889. – kavezni motor (Dolivo-Dobrovolski), 1927. – strojevi hlađeni vodikom.

Električka rasvjeta: 1813. – prvo lučno svijetlo pomoću električke struje (Davy), 1848. – lučna svjetiljka (*Duboscq i Foucault*), *1876*. – prva praktički upotrebljiva lučna svjetiljka (Jabločkov), 1878. – diferencijalna lučna svjetiljka (Hefner – Alteneck). *Otriće žarulje s ugljenom niti:* (1840. Grove, 1845. Starr), 1873. Lodygin, 1879. Edison, 1880. – prva rasvjeta električkim žaruljama, 1881. – prva rasvjeta el. žaruljama u Evropi (Edison na svjetskoj izložbi u Parizu), 1896. – živina sijalica (Cooper-Hewitt), 1898. – žarulja s užarenim poluvodičima (metalnim oksidima) u zraku (Nernst), 1899. – osmijeva žarulja, 1903. – prva volframova nit za žarulju (Hanaman i Just), 1904. – tinjalica, svjetl. cijev punj. sa CO_2 (Moore), 1905. – tantalova žarulja (Siemens & Halske), 1910. – neonska cijev (Claude), 1913. – plinom punjena žarulja (Langmuir), 1938. – n. n. fluoresc. sijalica.

Razna otkrića: 1752. – munjovod (Franklin), 1800. – galvanski element (*Volta*), *1825*. – *elektromagnet* (Sturgeon), 1833. – telegraf s magnetskom iglom (Weber, Gauss), 1835. – elektromagnetski pisaći telegraf (Morse), 1847. – prvi kabel (*Siemens*), *1859*. – *prvi upotrebljivi olovni akumulator (Planté), 1861. – telefon* (Reis), 1867. – Bellov telefon (Bell), 1878. – mikrofon (Hughes), 1879. – električka lokomotiva (Siemens), 1885. – praktički primjenljivi transformator (Blathy, Dery, Zipperowsky), 1890. – uljni transformator (Brown), 1893. – fotoćelija (Elster, Geitel), 1895. – uljna sklopka, 1895. – kino (*Lumiere*), *1897*. – bežična telegrafija (Marconi, Popov), 1899. – Pupinov svitak (Pupin), 1902. – živin usmjerivač (Cooper Hewitt), 1904. – elektronka, dioda (Fleming), 1913. – prvi bežični saobraćaj Evropa-Amerika, 1917. – zemljospojno gasilo (Petersen), 1920. – početak javnih radio-emisija, 1922. – tonfilm (Vogt, Engl, Massolle), 1931 – ciklotron (Lawrence), 1933 – elektronski mikroskop (Borries i Ruska), 1945. – početak moderne televizije (SAD), 1951. – televizija u boji (SAD).

Ostala područja: Štampa 1441. (Guttenberg) – Diferencijalni i integralni račun 1675. (Leibnitz). – Čelik iz lijevanog i kovanog željeza 1722. (Réaumur), prva visoka peć 1740. – Bessemerov postupak za dobivanje čelika 1855. – Prva primjena plinske rasvjete 1786, petrolejka 1855. (Silliman). – Portland-cement 1824. (Aspdin). – *Parni stroj: Branca 1629*, Papin 1681, Newcomen 1711, Watt 1764; parni kotao 1781. (Watt), parna turbina: Parsons 1886, de Laval 1889; pregrijač pare 1884. (*Schmidt*). – *Vodna turbina 1775. (de Girard), Francisova turbina 1847*, Peltonova turbina 1880, spiralna komora 1886. (Tvornica Voith), Kaplanova turbina 1912. – Plinski motor 1823. (von Braun), prvi bešumni plinski motor 1878. (Otto), benzinski motor 1883. (Benz), dizelski motor 1896. (Diesel). – Parni voz 1825. (Stephenson), prva željeznička pruga s lokomotivama *1830. (Manchester* – Liverpool), automobil 1885. (Daimler), avion 1903. (braća Wright), prvi reaktivni putnički avion (Comet) 1953, prvi umjetni zemljin satelit 1957. (SSSR). – Otkriće radija 1898. (P. i M. Curie), cijepanje uranove jezgre 1938. (Hahn), prvi nuklearni reaktor 1942. (Fermi).

Historija elektroprivrede: Vidi 402, str. 672.

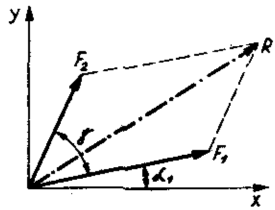
MEHANIKA, NAUKA O ČVRSTOĆI, ISPITIVANJE MATERIJALA, TERMODINAMIKA

IZ MEHANIKE KRUTINA

1. Određivanje rezultante sila

Rezultanta dviju sila F_1 i F_2 može se odrediti grafički prema slici desno ili računski iz formule.

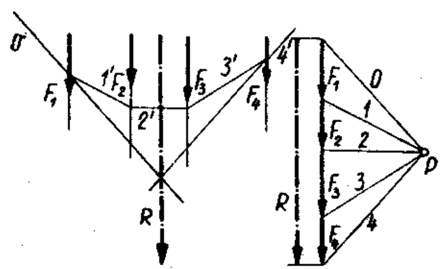
$$R = \sqrt{F_1^2 + F_2^2 + 2F_1F_2\cos\gamma}$$



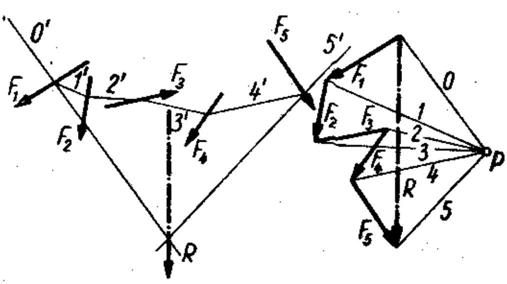
Rezultantu nekoliko sila možemo odrediti tako da zbrojimo projekcije svih sila na os X ($R_x = F_1 \cos\alpha_1 + F_2 \cos\alpha_2 + \ldots$) i na os Y ($R_y = F_1 \sin\alpha_1 + F_2 \sin\alpha_2 + \ldots$) pa dobijemo (Pitagorinim poučkom): $R = \sqrt{R_x^2 + R_y^2}$.

Sasvim općenito rezultanta sila može se odrediti grafički prema slikama desno. Uputa:

Sile $F_1 \ldots F_n$ nanižu se, uz održavanje tačnog smjera, u poligon sila. Spojnica početka i kraja poligona sila daje rezultantu R po smjeru i veličini. Da se dobije hvatište rezultante, odabere se u proizvoljnoj udaljenosti od poligona pol P koji se spoji zrakama 0, 1, 2 itd. s krajevima sila. Zatim se nacrtaju zrake 0′, 1′, 2′ itd. do sjecišta s pojedinim pravcima sila. Rezultanta prolazi sjecištem prve i zadnje zrake.



a) Za paralelne sile



b) Za sile kakvagod smjera

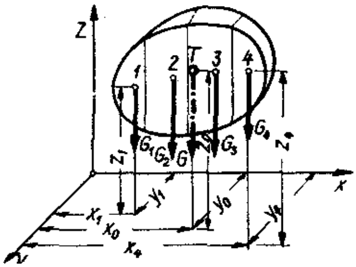
1a. Par sila, zakretni moment

Dvije jednake sile F (kp) međusobno udaljene a (m) nazivaju se par sila i tvore zakretni moment $M = Fa$ (kpm). Sila F koja djeluje na kraku r tvori zakretni moment $M = Fr$. Kad je gibanje kružno, sila F naziva se obodnom silom.

2. Određivanje težišta tijela

Težište tijela nalazi se u hvatištu elementarnih sila. Određuje se tako da se tijelo razdijeli u pojedine dijelove pa se težine tih dijelova nanesu kao pojedinačne sile i potraži hvatište rezultante za dva različita smjera djelovanja teže. Tako se odrede 2 težišnice, a težište je u njihovu sjecištu.

Računski se mogu odrediti koordinate težišta iz jednadžbi:



$$x_0 = \sum_1^n (x_i G_i)/G \qquad y_0 = \sum_1^n (y_i G_i/G$$

$$z_0 = \sum_1^n (z_i G_i)/G.$$

$$G = \sum_1^n G_i = \text{ukupna težina}$$

Ako je tijelo s obzirom na bilo koju os simetrično, težište je uvijek u osi simetrije.

Težište pojedinih tijela je:

Kugle i elipsoida: u središtu.

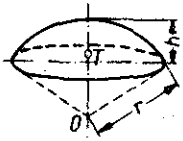
Kocke i paralelepipeda: u središtu (sjecištu dijagonala).

Prizme: u sredini spojnice težišta osnovica.

Valjka (cilindra): u osi u sredini između osnovica.

Piramide: u težišnici (spojnici težišta osnovice s vrhom piramide) u udaljenosti od osnovice $\frac{1}{4}h$ (h - visina piramide).

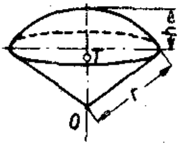
Stošca (čunja): u osi u udaljenosti od osnovice $\frac{1}{4}h$ (h - visina stošca).



Kuglinog odsječka (kalote):

$$\overline{TO} = \frac{3}{4}\frac{(2r-h)^2}{3r-h}$$

(O - središte kugle, T - težište)



Kuglinog isječka:

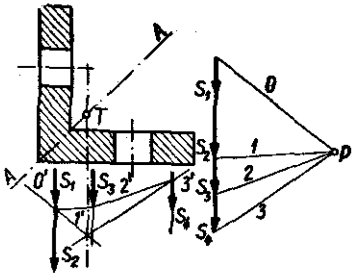
$$\overline{TO} = \frac{3}{8}(2r-h)$$

3. Određivanje težišta ploha

Ploha se rastavi u elementarne plohe, koje se predstavljaju silama proporcionalnim njihovim površinama, pa se potraži hvatište rezultante tih sila pomoću poligona sila, i to za dva različita smjera. Tako se dobiju dvije težišnice, a težište je u njihovu sjecištu.

Primjer:

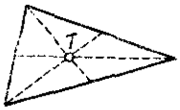
Jednа težišnica je u osi simetrije $A - A$, a druga je određena grafički.



Težište pojedinih ploha je:

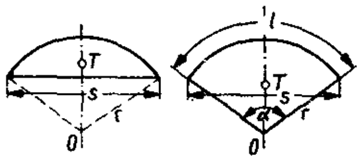
Kugle, elipse i pravilnog mnogokuta: u središtu.

Trokuta: u sjecištu raspolovnica stranica.



Kvadrata, pravokutnika, romba i paralelepipeda: u sjecištu dijagonala.

Bilokakvog četvorokuta: Težište se određuje tako da se jednom dijagonalom četvorokut razdijeli na dva trokuta, pa se odrede njihova težišta T_1 i T_2. Zatim se drugom dijagonalom četvorokut razdijeli na druga dva trokuta pa se odrede i njihova težišta T_3 i T_4. Težište četvorokuta dobije se tada kao sjecište spojnica T_1T_2 i T_3T_4.



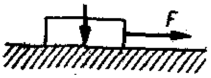
Kružni odsječak: $\overline{TO} = \frac{s^3}{12S}$

Kružni isječak: $\overline{TO} = \frac{2}{3}\frac{rs}{l}$

(S - površina, $l = 2r\alpha$ - duljina luka)

4. Trenje

a) Suho trenje na horizontalnoj podlozi



u mirovanju: $F_{max} = \mu_0 G$

u gibanju: $F \approx \mu G$

$\mu = \mathrm{tg}\,\rho$

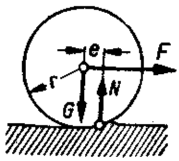
G - težina odn. pritisak vertikalno na podlogu, μ_0 - koeficijent trenja u mirovanju, $\mu < \mu_0$ - koeficijent trenja u gibanju (opada s porastom brzine i povećanjem pritiska), ρ - kut trenja.

b) Koeficijenti trenja

Taru se	μ_0 (mirovanje)			μ (gibanje)		
	suho	namazano	s vodom	suho	namazano	s vodom
čelik o čelik	0,15	0,1	—	0,1	0,009	—
čelik o sivi lijev (lijevano željezo), crveni lijev ili bronzu	0,18	0,1	—	0,16	0,01	—
metal o drvo	0,6 — 0,5	0,1	—	0,5 — 0,2	0,08—0,02	0,26—0,22
drvo o drvo	0,65	0,2	0,7	0,4 — 0,2	0,16—0,04	0,25
koža o metal (brtvila)	0,6	0,25	0,62	0,25	0,12	0,36
kožnati remen o sivi lijev (lijevano željezo)	0,56	—	0,36	0,28	0,12	0,38
kožnati remen o drvo	0,27	—	—	0,47	—	—

(Prema Dubbel, Taschenbuch für den Maschinenbau.)

c) Trenje koturanja



$$F = G\frac{e}{r} \quad \text{[kp, kp, cm, cm]}$$

Za sivi lijev (lijevano željezo), čelični lijev ili čelik o čelik $e = 0{,}05$ cm.
Za kuglične i valjkaste ležajeve: $e = 0{,}0005$ do 0,001 cm.

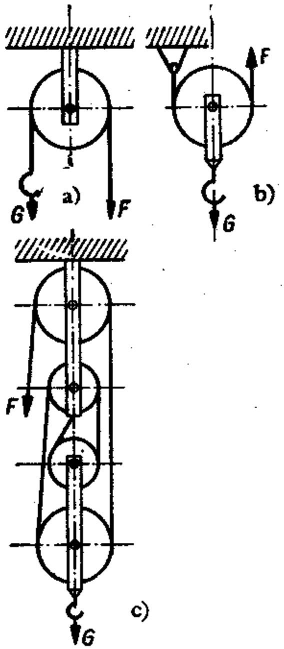
d) Otpor vožnje:

$F = \mu_v G$ (G - ukupna težina vozila)

Ukupno trenje vožnje μ_v

Kotači bandažirani čelikom	
na čvrstoj zemlji	0,1
na čvrstoj pošljunčanoj cesti	0,04
na makadamiziranoj cesti	0,02
na lošoj kamenoj kaldrmi	0,04
na dobroj kamenoj kaldrmi	0,02
na cesti popločenoj mekim drvetom	0,018
na cesti popločenoj tvrdim drvetom	0,013
na asfaltiranoj cesti	0,01
Guma na asfaltu	0,025
Tramvajska pruga	0,005
Željeznička pruga	0,003

5. Koturi i koloturnici



a) Čvrsti kotur:

$$F = G/\eta$$

$\eta = 0{,}95$ (trenje i krutost užeta, za namašćeno čelično uže)

b) Pokretljiv kotur:

$$F = \frac{1}{1+\eta} G$$

c) Koloturnik (Flaschenzug)

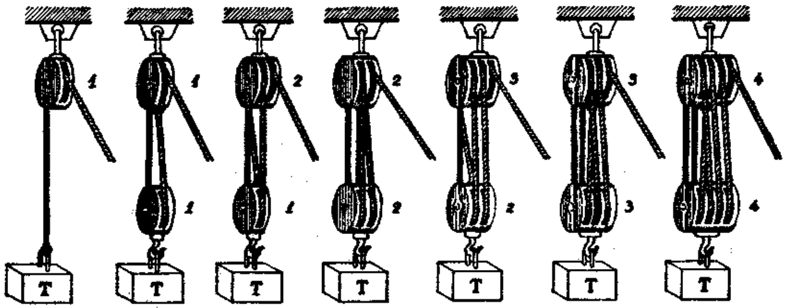
$$F = \frac{G}{\eta_{uk}\, n} \quad (n\text{ - broj kotura})$$

$$\eta_{uk} = \frac{1}{n} \cdot \frac{1-\eta^n}{1-\eta}\eta$$

Uz $\eta = 0{,}95$ dobije se

za n =	2	3	4	5	6	8	10
η_{uk} =	0,93	0,90	0,88	0,86	0,84	0,79	0,76

d) Natezni koloturnici



n =	1	2	3	4	5	6	8
F/G =	1,05	0,54	0,37	0,29	0,24	0,20	0,16
=	1,1	0,6	0,43	0,35	0,30	0,27	0,23

Vrijednost 1,05 do 0,16 vrijede za $\eta = 0{,}95$, a vrijednosti 1,1 do 0,23 za $\eta = 0{,}90$.

F – natezna sila, G – teret (T).
Slika iz knjige Csikos, Građevni priručnik.

6. Prijenosnici

Prijenosni omjer $p = \dfrac{\text{brzina vrtnje gonjene osovine}}{\text{brzina vrtnje zagonske osovine}} = \dfrac{n_1}{n_2}$

(brzina vrtnje = broj okreta u minuti)

Remenski prijenos $\quad p = \dfrac{n_1}{n_2} = \dfrac{D_2}{D_1}$ (D - promjer remenice)

Zupčani prijenos: $\quad p = \dfrac{n_1}{n_2} = \dfrac{z_2}{z_1}$ (z - broj zubi)

Pužni prijenos $\quad p = \dfrac{n_1}{n_2} = \dfrac{z}{i}$ (z - broj zubi pužnog kola, i - hodni broj pužnog vijka)

7. Gibanje

B r z i n a :

pri jednolikom gibanju $v = \dfrac{\text{put}}{\text{vrijeme}} = \dfrac{s}{t}$ [m/s, m, s]

pri nejednolikom gibanju $v = \dfrac{\mathrm{d}s}{\mathrm{d}t} \approx \dfrac{\Delta s}{\Delta t}$ [m/s, m, s]

U b r z a n j e (akceleracija), tangencijalno:

$$a = \frac{\mathrm{d}v}{\mathrm{d}t} \qquad [\text{m/s}^2, \text{m/s}, \text{s}]$$

ili $$a = \frac{\mathrm{d}^2 s}{\mathrm{d}t^2} \qquad [\text{m/s}^2, \text{m}, \text{s}]$$

N o r m a l n o u b r z a n j e :

$$a_n = \frac{v^2}{\rho} \qquad [\text{m/s}^2, \text{m/s}, \text{m}]$$

ρ - polumjer zakrivljenosti

K u t n a b r z i n a :

$$\omega = \pi n/30 \qquad [\text{rad/s}, \text{okr/min}]$$

K u t n o u b r z a n j e :

$$\beta = \frac{\mathrm{d}\omega}{\mathrm{d}t} \approx \frac{\Delta\omega}{\Delta t} \qquad [\text{rad/s}^2, \text{rad/s}, \text{s}]$$

S l o b o d n i p a d (bez otpora zraka):

$$v = gt = \sqrt{2gh}$$

V e r t i k a l n i h i t a c (bez otpora zraka):

$$h = \frac{g}{2} t^2 = \frac{v_0^2}{2g}$$

h [m] - visina

g [m/s²] - gravitacija (ubrzanje teže)

Gibanje na kosoj plohi:

$$a = g\,(\sin\alpha - \mu\cos\alpha)$$

$$v = \sqrt{2\,as}, \quad s = \frac{v}{2\,a}$$

α - kut nagiba plohe, μ - koeficijent trenja, s - prevaljeni put.

Horizontalni hitac (bez otpora zraka):

$l = v_0 t$ [m, m/s, s] l - domet, v_0 - početna brzina

$h = \frac{g}{2} t^2$ [m, m/s², s] h - visina hica

Kosi hitac:

$$h = \frac{(v_0 \sin\alpha)^2}{2\,g}, \qquad l = \frac{v_0^2 \sin 2\alpha}{g}$$

α - kut hica prema horizontali.

Harmoničko gibanje:

$$s = A\sin\omega t; \qquad v = A\omega\cos\omega t; \qquad a = -A\omega^2 \sin\omega t = -\omega^2 s$$

$$\omega = 2\,\pi f; \qquad T = \frac{2\,\pi}{\omega}; \qquad = \frac{1}{T}$$

A [m] - amplituda, ω [rad/s] - kutna brzina, T [s] - perioda, f [Hz] - frekvencija.

8. Osnovni dinamički zakon (Newtonov zakon)

$$F = ma \qquad G = mg \qquad m = \frac{G}{g}$$

F [N - njuton] - sila, m [kg] - masa, a [m/s²] - ubrzanje, G [N] - težina, g [m/s²] - gravitacija (ubrzanje teže) = 9,81 m/s².

Pazi na razliku između mase i težine te kilograma mase i kilograma težine (kiloponda); vidi 26a, str. 65.

9. Rad = sila × put u kojem sila djeluje. (Umnožak sile i projekcije puta u smjer sile ili umnožak puta i komponente sile u smjeru puta.)

$$W = Fs \quad [\text{Ws, N, m}] \text{ ili } [\text{kpm, kp, m}]$$

W - rad, F - sila, s - put na kojem sila djeluje. Ws = vatsekunda, N - njuton, kpm - kilopondmetar, kp - kilopond = kilogram sile. 1 Ws = 1 J (džul) = 1 Nm (njuton-metar).

10. Snaga (učin) $= \dfrac{\text{rad}}{\text{vrijeme}} = \dfrac{\text{sila} \times \text{put}}{\text{vrijeme}}$

a) $P = \dfrac{W}{t} = \dfrac{Fs}{t}$ [W (vat), Ws, s, N, m, s] ili [kpm/s, kpm, s, kp, m, s]

b) $P = Fv = M\omega$ [W, N, m/s, Nm, rad/s] ili [kpm/s, kp, m/s, kpm, rad/s]

F - sila, v - brzina, $M = Fr$ - zakretni moment, $\omega = v/r$ - kutna brzina, r - polumjer.

c) $P\,[\text{KS}] = \dfrac{W}{75t} = \dfrac{Fs}{75t} = \dfrac{Fv}{75} = \dfrac{Mn}{716}$

W u kpm, F u kp, M u kpm, n u okr/min.

d) $P\,(\text{KS}) = \dfrac{W}{736t} = \dfrac{Fs}{736t} = \dfrac{Fv}{736} = \dfrac{Mn}{7024}$

W u W, F u N (njuton), M u Nm (njuton-metar).

e) $P\,[\text{kW}] = \dfrac{W}{102t} = \dfrac{Fs}{102t} = \dfrac{Fv}{102} \quad \dfrac{Mn}{974}$

W u kpm, F u kp, M u kpm.

f) $P\,[\text{kW}] = \dfrac{W}{1000t} = \dfrac{Fs}{1000t} = \dfrac{Fv}{1000} = \dfrac{Mn}{1325}$

W u W, F u N, M u Nm.

10a. Zakretni moment izražen snagom i brzinom vrtnje

Izračunava se iz formula pod 10c) do f). Na primjer:

$M = 974\,P/n$ [kpm, kW, okr/min]

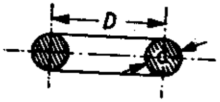
11. Moment tromosti mase:

$$J = \sum_{1}^{n} (m_i x_i^2)$$

gdje su m_i pojedini djelići mase tijela, a x_i njihova udaljenost od osi vrtnje. $\sum_{1}^{n} m_i = m$ (masa tijela koje rotira).

Tijelo	Valjak	Šuplji valjak	Kugla	Prsten
$J =$	$\dfrac{1}{8} m D^2$	$\dfrac{1}{8} m (D^2 + d^2)$	$\dfrac{1}{10} m d^2$	$\dfrac{1}{4} m (D^2 + 3a^2)$

Pojedine veličine kod prstena znače:



12. Polumjer tromosti i je udaljenost one tačke od osi vrtnje u kojoj bi cjelokupna masa nekog tijela (koncentrirana u tu tačku) dala moment tromosti koji tijelo faktično ima: $J = mi^2$. Prema tome je $i = \sqrt{J/m}$.

13. Zamašni moment (GD^2)

GD^2 se u Giorgijevom mjernom sistemu mjeri u Nm^2 (njuton-kvadratni metar), a tehničkom mjernom sistemu u kpm^2 (kilopond-kvadratni metar).

Za puni valjak (približno i za rotor motora): $GD^2 = G\dfrac{d^2}{2}$

G - težina valjka, d - promjer valjka

Za šuplji valjak (približno i za zamašnjak): $GD^2 = G\dfrac{d_v^2 - d_u^2}{2}$

Za prsten: $GD^2 = G(D^2 + 3a^2)$ — oznake prema 54/11 (vidi prethodnu stranu).

Općenito se GD^2 nekog stroja ili zamašnjaka izračuna tako da se stroj odn. zamašnjak podijele u tanke koncentrične cilindre težina G_1, G_2, $G_3 \ldots$ kojih je promjer d_1, d_2, $d_3 \ldots$ Tada je ukupni zamašni moment:

$$GD^2 = G_1 d_1^2 + G_2 d_2^2 + G_3 d_3^2 + \ldots$$

Veza između zamašnog momenta i momenta tromosti mase proizlazi iz jednadžbe $J = mi^2$. Ako u nju uvrstimo $m = G/g$ te $i = D/2$, dobijemo $J = GD^2/4\,g$, odnosno

$$GD^2 = 4gJ \qquad [N,\ m,\ m/s^2,\ kgm^2]$$

14. Kinetička energija:

$$K = \frac{mv^2}{2} \qquad [Ws,\ kg,\ m/s]$$

K - kinetička energija, m - masa tijela koje se giba, v - brzina tijela.

Stavak o kinetičkoj energiji: $Fs = \dfrac{mv^2}{2} - \dfrac{mv_0^2}{2}$ $[N,\ m,\ kg,\ m/s]$

F - sila, s - put, m - masa, v - brzina, N - njuton.

Riječima: Prirast kinetičke energije nekog tijela jednak je radu koji su izvršile sile što djeluju na to tijelo.

15. Kinetička energija tijela koje rotira:

$$K = \frac{J\omega^2}{2} \quad [\text{Ws, kgm}^2\text{, rad/s}]$$

$$\text{ili } K = 140(GD^2)n^2 \cdot 10^{-6} \qquad [\text{kpm, kpm}^2\text{, okr/min}]$$

J - moment tromosti mase tijela koje rotira, ω - kutna brzina, GD^2 - zamašni moment, n - brzina vrtnje

16. Stavak o impulsu: $Ft = mv - mv_0$ [N, s, kg, m/s]

F - sila, t - vrijeme, Ft - impuls sile, m - masa, v - brzina, mv - veličina gibanja.

Riječima: Prirast veličine gibanja jednak je impulsu sile.

17. Centrifugalna sila: $F_c = mr_t\,\omega^2$ [N, kg, m, rad/s]

r_t - udaljenost težišta od osi vrtnje, ω - kutna brzina.

18. Korisnost: (stupanj ili stepen djelovanja, korisnosti, iskoristivosti):

$$\eta = \frac{\text{predavana snaga}}{\text{primana snaga}} = \frac{\text{predana energija (obavljeni rad)}}{\text{primljena energija}}$$

55

IZ HIDRAULIKE

1. Hidrostatski tlak: $p = h\gamma$ [kp/m² m, kp/m³]

h - visina stupca tekućine, γ - specifična težina.

2. Pritisak tekućine na neku površinu: $F = Sp = Sh\gamma$ [kp, m², kp/m²]

3. Pritisak okomitog mlaza vode:

$$F = qv \qquad [\text{N, kg/s, m/s}]$$

$$\text{ili } F = 0{,}102\, qv \qquad [\text{kp, kg/s, m/s}]$$

q - količina vode u mlazu, v - njegova brzina

4. Istjecanje vode iz posude

Brzina istjecanja: $v = \varphi\sqrt{2g\,(p+h)}$ [m/s, m/s², m H_2O, m]

Količina vode: $Q = \mu S\sqrt{2g\,(p+h)}$ [m³/s, m², m/s², m H_2O, m]

$\varphi = 0{,}97$, $g = 9{,}81$ m/s², h - vertikalna udaljenost otvora od razine vode, p - pretlak u posudi, μ (koeficijent kontrakcije) $\approx 0{,}97$ kod sapnica, $\approx 0{,}62$ kod oštrobridnih otvora, S - presjek otvora.

5. Pad tlaka u cijevima, ventilima i zasunima

Za inkrustirane ravne cijevi i hladnu vodu vrijedi (prema Langu):

$$h_g = \left(0{,}02 + \frac{0{,}0018}{\sqrt{vd}}\right)\frac{v^2}{2g}\cdot\frac{l}{d} \qquad [\text{mm } H_2O]$$

v - brzina vode [m/s], d - promjer cijevi [m], l - duljina cijevi [m], g - gravitacija = 9,81 m/s².

Pad tlaka u cijevima, ventilima i zasunima (nastavak)

Za krivine, ventile i zasune ovaj pregled daje približne ekvivalentne duljine ravne cijevi u m u kojoj bi nastao jednaki pad tlaka:

Nazivni promjer cijevi mm	50	100	150	200	250	300	400	500
Ravna krivina 90°	2	4	6	7,5	9	11	17	21
Obična trgovačka krivina od sivog lijeva	5	11	19	27	36	45	66	82
Normalni prolazni ventil	20	46	75	110	150	195	250	400
Paralelni zasun, posve otvoren	1	2,5	3	4,5	6	7,5	11,5	15

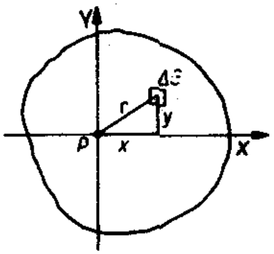
IZ NAUKE O ČVRSTOĆI

56a

1. Oznake i jedinice

F - sila [kp - kilopond = kilogram sile], l - duljina [cm], M - moment savijanja [kpcm], S - presjek [cm^2], σ - naprezanje [kp/cm^2], i to: σ_z - na zatezanje, σ_p - na pritisak, σ_s - na savijanje, σ_d - dozvoljeno naprezanje [kp/cm^2], i to σ_{zd} - na zatezanje, σ_{pd} - na pritisak, σ_{sd} - na savijanje, τ_0 - naprezanje na odrez [kp/cm^2], τ_t - naprezanje na torziju [kp/cm^2], τ_{od}, τ_{td} - dozvoljeno naprezanje na odrez odn. torziju, α_t - linearni toplinski koeficijent rastezanja [1/step], E - modul elastičnosti [kp/cm^2], α - linearni koeficijent rastezanja [cm^2/kp], G - modul smika [kp/cm^2], I_x - površinski moment tromosti s obzirom na os X [cm^4], W_x - moment otpora s obzirom na os X [cm^3], I_p - polarni moment tromosti [cm^4].

2. Aksijalni ili ekvatorijalni moment tromosti (inercije)



S obzirom na os X:

$$I_x = \Sigma\,(\Delta S \cdot x^2)$$

s obzirom na os Y:

$$I_y = \Sigma\,(\Delta S \cdot y^2)$$

(vidi tablice 56b, 56c, 102, 103)

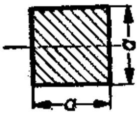
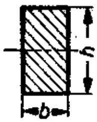
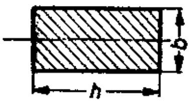
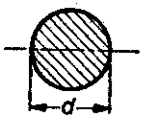
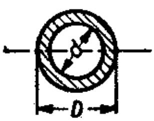
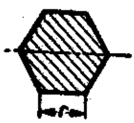
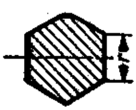
Steinerov poučak za paralelne osi:

$$I_a = I_s + Sa^2$$

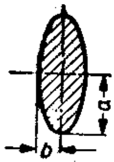
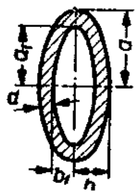
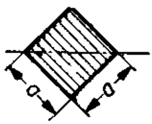
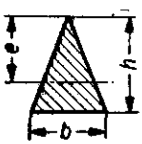
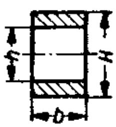
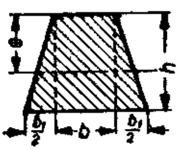
gdje je I_a - moment tromosti s obzirom na os a, I_s - moment tromosti s obzirom na težišnicu, S - površina, a - udaljenost osi a od težišnice.

Nastavak na strani 136.

56 b Formule za momente tromosti i momente otpora

Presjek	Moment tromosti	Moment otpora
	$I = \frac{a^4}{12}$	$W = \frac{a^3}{6}$
	$I = \frac{bh^3}{12}$	$W = \frac{bh^2}{6}$
	$I = \frac{hb^3}{12}$	$W = \frac{hb^2}{6}$
	$I = \frac{\pi d^4}{64}$	$W = \frac{\pi d^3}{32} \approx 0{,}1\, d^3$
	$I = \frac{\pi}{64}(D^4 - d^4)$	$W = \frac{\pi}{32} \cdot \frac{D^4 - d^4}{D}$
	$I = \frac{5\sqrt{3}}{16} r^4 = 0{,}5413\, r^4$	$W = \frac{5}{8} r^3$
		$W = 0{,}5413\, r^3$

Formule za momente tromosti i momente otpora (nastavak)

Presjek	Moment tromosti	Moment otpora
	$I = \frac{\pi a^3 b}{4}$	$W = \frac{\pi a^2 b}{4}$
	$I = \frac{\pi}{4}(a^3 b - a_1^3 b_1) \approx$ $\approx \frac{\pi}{4} a^2 (a + 3\,b)\,d$	$W \approx \frac{\pi}{4} a\,(a + 3\,b)\,d$
	$I = \frac{a^4}{12}$	$W = \frac{\sqrt{2}}{12} a^3 = 0{,}1178\,a^3$
	$I = \frac{b h^3}{36}$	$W = \frac{b h^2}{24}$ $e = \frac{2}{3} h$
	$I = \frac{b}{12}(H^3 - h^3)$	$W = \frac{b}{6} \cdot \frac{H^3 - h^3}{H}$
	$I = \frac{6\,b^2 + 6\,b b_1 + b_1^2}{36\,(2\,b + b_1)}$	$W = \frac{6\,b^2 + 6\,b b_1 + b_1^2}{12\,(3\,b + 2\,b_1)}\,h^2$ $e = \frac{1}{3} \cdot \frac{3\,b + 2\,b_1}{2\,b + b_1}\,h$

Momente tromosti i momente otpora čeličnih profila vidi u **102** i **103**.

3. Polarni moment tromosti s obzirom na pol P:

$$I_p = \Sigma (\Delta S \cdot r^2) = I_x + I_y$$

4. Moment otpora s obzirom na os X:

$W_x = I_x / e_x$ e_x - udaljenost najudaljenijeg napregnutog vlakna od osi X [cm]. (Vidi tablice **56b**, **56c**, **102**, **103**.)

5. Polumjer tromosti

$$i = \sqrt{I/S}, \text{ kod kružnog presjeka } i = \frac{d}{4} \quad [\text{cm}]$$

6. Formule za momente tromosti i momente otpora
Vidi pregled na stranama 134 i 135.

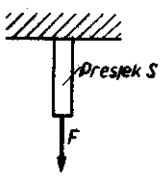
56c

7. Momenti tromosti i momenti otpora okruglog presjeka

d	I	W	d	I	W	d	$I \times 10^3$	$W \times 10^3$
1	0,0491	0,0982	21	9 547	909,2	45	201,3	8,946
2	0,7854	0,7854	22	11 499	1045	50	306,8	12,27
3	3,976	2,651	23	13 737	1194	55	449,2	16,33
4	12,57	6,283	24	16 286	1357	60	636,2	21,21
5	30,68	12,27	25	19 175	1534	65	876,2	26,96
6	63,62	21,21	26	22 432	1726	70	1178	33,67
7	117,9	33,67	27	26 087	1932	75	1553	41,42
8	201,1	50,27	28	30 172	2155	80	2011	50,26
9	322,1	71,57	29	34 719	2394	85	2562	60,29
10	490,9	98,17	30	39 761	2651	90	3221	71,57
11	718,7	130,7	31	45 333	2925	95	3998	84,17
12	1018	169,6	32	51 472	3217	100	4909	98,17
13	1402	215,7	33	58 214	3528	105	5967	113,7
14	1886	269,4	34	65 597	3859	110	7187	130,7
15	2485	331,3	35	73 662	4209	115	8585	149,3
16	3217	402,1	36	82 448	4580	120	10179	169,6
17	4100	482,3	37	91 998	4973	125	11984	191,7
18	5153	572,6	38	102 354	5387	130	14020	215,7
19	6397	673,4	39	113 561	5824	135	16204	241,5
20	7854	785,4	40	125 664	6283	140	18857	269,4

d - promjer, I - aksijalni moment tromosti, W - moment otpora.

8. Zatezanje (vlak)

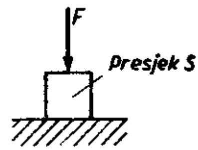


Zatezno naprezanje: $\sigma_z = F/S$

Potreban presjek: $S = F_{max}/\sigma_{zd}$

σ_{zd} - Vidi u tablicama **59.**

9. Pritisak (tlak)



Naprezanje na pritisak: $\sigma_p = F/S$

Potreban presjek: $S = F_{max}/\sigma_{pd}$

σ_{pd} — vidi u tablicama 59.

10. Toplinska naprezanja

Ako je neki komad materijala upet pa se grije ili hladi, nastaje u njemu toplinsko naprezanje σ:

$$\sigma = \varepsilon E = \frac{\Delta l}{l} E = E \alpha_t \cdot \Delta t$$

α_t za razne materijale vidi u tablici 71.

11. Odrez (smik)



Srednja naprezanja na odrez: $\tau_{osr} = F/S$
(S - presjek zakovice)

Potreban presjek: $S = F_{max}/\tau_{od}$

Za metale i za drveta okomito na smjer vlakanaca vrijedi približno: $\tau_{od} = 4/5\ \sigma_{zd}$

Maksimalno naprezanje na odrez iznosi

za pravokutan presjek $\tau_{omax} = \dfrac{3F}{2S}$

za kružni presjek $\tau_{omax} = \dfrac{4F}{3S}$

12. Savijanje, osnovne formule



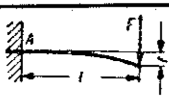
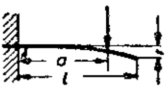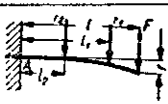
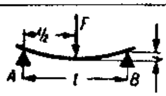
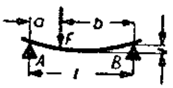
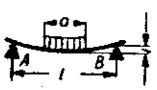
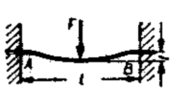
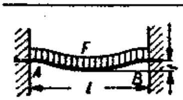
Naprezanje na savijanje: $\sigma_s = M/W$

Potreban moment otpora: $W = M_{max}/\sigma_{sd}$

σ_{sd} vidi u tablicama **59**, W u **56b, 56c, 102, 103.** M u narednoj tablici.

Za razne slučajeve opterećenja nosača jednolikog presjeka navedene su reakcije u uporištima, maksimalni momenti savijanja i progib u pregledu na narednoj strani. Progib u ovom pogledu dobije se dvostrukom integracijom diferencijalne jednadžbe elastične linije $\dfrac{d^2y}{dx^2} = -\dfrac{M}{EI}$. Momenti savijanja su pozitivni ako nosač savijaju prema gore. Progib nosača s nejednolikim presjekom određuje se obično grafički.

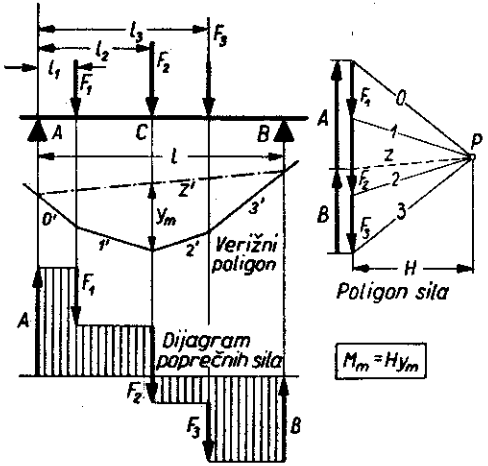
Nosači jednolikog presjeka

Opterećenje	Reakcije A i B u uporištima	Maksimalni moment savijanja M_m	Progib f
	$A=F$	Kod A: $M_m=Fl$	$f=\frac{Fl^3}{3EI}$
	$A=F$	Kod A: $M_m=Fa$	$f=\frac{Fa^2l}{3EI}$
	$A=F$	Kod A: $M_m=\frac{Fl}{2}$	$f=\frac{Fl^3}{8EI}$
	$A=F+F_1+F_2$	Kod A: $M_m=Fl+F_1l_1+F_2l_2$	$f=\frac{Fl^3+F_1l_1^2l+F_2l_2^2l}{3EI}$
	$A=B=\frac{F}{2}$	Kod F: $M_m=\frac{Fl}{4}$	$f=\frac{Fl^3}{48EI}$
	$A=Fb/l$ $B=Fa/l$	Kod F: $M_m=\frac{Fab}{l}$	$f=\frac{Fa^2b^2}{3EIl}$
	$A=B=\frac{F}{2}$	U sredini: $M_m=\frac{Fl}{8}$	$f=\frac{5Fl^3}{384EI}\approx\frac{Fl^3}{77EI}$
	$A=B=\frac{F}{2}$	U sredini: $M_m=\frac{F(2l-a)}{8}$	$f=\frac{Fl^3}{\left(48+\frac{29a}{l}\right)EI}$
	$A=B=\frac{F}{2}$	Kod A, B i u sredini: $M_m=\frac{Fl}{8}$	$f=\frac{Fl^3}{192EI}$
	$A=B=\frac{F}{2}$	Kod A i B: $M_m=Fl/12$ (U sredini: $M=Fl/24$)	$f=\frac{Fl^3}{384EI}$

Potrebni moment otpora W izračuna se po formuli $W=M_m/\sigma_{sd}$, a opteretivost F iz gornjih formula za M_m.

13. Savijanje: grafičko i računsko određivanje reakcija, opasnog presjeka i maksimalnog momenta savijanja

G r a f i č k i   p o s t u p a k je analogan onome kod grafičkog određivanja rezultante sila.

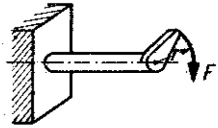


Nacrtaj nosač u povoljnom mjerilu i na nj u pripadnim tačkama nanesi sile F_1, F_2 itd., također u povoljnom mjerilu (npr. 1 mm = 10 kp). Nacrtaj sada poligon sila, i to tako da nanižeš sile F_1, F_2 itd., odabereš u povoljnoj (bilo kojoj) daljini H pol P te ga spojiš pravcima 0, 1, 2 itd. s krajevima sila. Pomoću poligona sila nacrtaj verižni poligon, i to tako da nacrtaš $0' \parallel 0$, $1' \parallel 1$, $2' \parallel 2$ itd. Presjecišta tog poligona s okomicama ispod A i B spoji zaključnom linijom z. Paralela s tom linijom z′ u poligonu sila dijeli slijed sila na reakcije A i B. Sad nacrtaj dijagram poprečne sile prema gornjoj slici. Opasni presjek je na mjestu gdje poprečna sila mijenja smjer. U tom presjeku djeluje maksimalni moment savijanja koji se izračuna po formuli:

$$M_m = Hy_m$$

R a č u n s k i   p o s t u p a k: Opterećenje prema gornjoj slici. Reakcije $A = (F_1 l_1 + F_2 l_2 + F_3 l_3) : l$; $B = \Sigma F - A$. Nacrtajmo dijagram poprečnih sila i ustanovimo da je opasni presjek kod F_2. Tada je $M_m = A l_2 - F_1 (l_2 - l_1)$, gdje su $A l_2$ i $F_2 (l_2 - l_1)$ momenti sila lijevo od opasnog presjeka, a s obzirom na opasni presjek.

14. Torzija (sukanje)



Naprezanje na torziju:

$\tau_t = M_t/W_p$; M_t - zakretni moment [kpcm]

Potreban p o l a r n i moment otpora:

$W_p = M_{max}/\tau_{td}$ (Za M_t vidi str. 130.) $W_p = I_p/r$

Za osovinu okruglog presjeka: $W_p = \pi d^3/16 \approx 0{,}2\, d^3$

Za šuplju osovinu: $W_p = \pi\,(d_v^2 - d_u^2)/16\, d_v \approx 0{,}2\,(d_v^2 - d_u^2)/d_v$

Za kvadratni presjek: $W_p = 0{,}208\, a^3$ (a - stranica kvadrata; najveća naprezanja u sredini stranice, na uglovima $\tau_t = 0$).

Kut torzije: $\varphi^0 = \dfrac{180}{\pi} \dfrac{M_t l}{G I_p}$

l - duljina osovine, G - modul klizanja (za čelik 8500 kp/mm²)

15. Složeno naprezanje na torziju i savijanje

Ukupni moment:

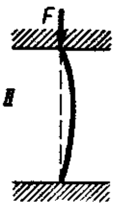
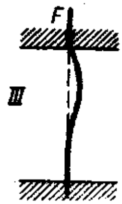
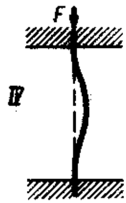
$$M_{uk} = 0{,}35\,M + 0{,}65\,\sqrt{M^2 + \left(\frac{\sigma_{sd}}{1{,}3\tau_{td}}\,M_z\right)^2}$$

Potrebni moment otpora (aksijalni):

$$W = M_{uk}/\sigma_{sd}$$

16. Izvijanje

a) Slobodna duljina izvijanja *s* za pojedine vrsti opterećenja (za stupove nadzemnih vodova vidi pod f)

	Jedan kraj štapa upet, drugi slobodno gibljiv	Oba su kraja podržavana u osi, ali nisu upeta	Jedan je kraj upet, a drugi slobodan, ali pridržavan u osi	Oba su kraja pridržana u osi i upeta
Način opterećenja				
Slobodna duljina izvijanja	$= 2l$	=	$= \frac{l}{2}\sqrt{2} \approx 0{,}707\,l$	$= 0{,}5\,l$

b) Osnovi izračunavanja

Nosač odnosno strojni dio mora biti dimenzioniran tako da do izvijanja sigurno ne može doći. Ako je K sila od koje se pojavljuje ugib, onda dozvoljeni teret F smije iznositi najviše $F = K/n$, gdje je n faktor sigurnosti. Obično se uzima za čelik $n = 5$, za sivi lijev (lijevano željezo) $n = 8$, za drvo $n = 10$.

Računa se po Eulerovoj (Ojler) formuli za elastično, a Tetmajerovoj formuli za neelastično savijanje. Kriterij za to je stupanj vitkosti:

$$\lambda = s/i \text{ gdje je } i = \sqrt{I/S}$$

I - mjerodavni moment tromosti (ako je izvijanje štapa zbog njegova pričvršćenja vezano na neki smjer, tada moment tromosti s obzirom na os okomitu na taj smjer), S - presjek neoslabljenog štapa (tj. ne uzimajući u obzir eventualne rupe za zakovice).

Eulerova formula vrijedi ako je stupanj vitkosti λ veći od

105	kod mekog čelika	(E = 2 100 000 kp/cm²)
89	„ tvrdog čelika	(E = 2 200 000 „)
86	„ nikalnog čelika do 5% Ni	(E = 2 100 000 „)
80	„ sivog lijeva	(E = 1 000 000 „)
100	„ drveta (četinara)	(E = 100 000 „)

ili barem jednak navedenim vrijednostima. Ako je λ manji od navedenih vrijednosti, računa se po Tetmajerovoj formuli.

c) Eulerova formula za elastično izvijanje

Potrebban moment tromosti $I_{min} = \frac{Fns^2}{\pi^2 E}$, n - faktor sigurnosti, vidi b),

(I_{min} - najmanji od svih aksijalnih momenata tromosti za neoslabljeni presjek štapa).

d) Tetmajerova formula za neelastično izvijanje

Materijal	E kp/cm²	Za $\lambda <$	Tetmajerova formula
Meki čelik	2 100 000	105	$\sigma_i = 3100 - 11{,}4\,\lambda$
Tvrdi čelik	2 200 000	89	$\sigma_i = 3350 - 6{,}2\,\lambda$
Nikalni čelik do 5% Ni	2 100 000	86	$\sigma_i = 4700 - 23{,}0\,\lambda$
Sivi lijev	1 000 000	80	$\sigma_i = 7760 - 120\,\lambda - 0{,}53\lambda^2$
Drvo četinara	100 000	100	$\sigma_i = 293 - 1{,}94\,\lambda$

Naprezanje na izvijanje σ_i mora biti $\geqq n\sigma_p$ gdje je n - faktor sigurnosti, a $\sigma_p = F/S$ dozvoljeno naprezanje na pritisak (S - presjek strojnog dijela).

e) Primjer: Ojnica kružnog presjeka od mekog čelika, dugačka $l = 1200$ mm opterećena je sa $F = 12\,000$ kp. Koliki treba da joj bude promjer d? — Ojnica je opterećena na način II pa je $s = l$. Uzmimo $n = 6{,}5$ pa izračunajmo potrebni moment tromosti po Euleru:

$$I = \frac{12\,000 \cdot 6{,}5 \cdot 120^2}{\pi^2 \cdot 2\,100\,000} = 54{,}2 \text{ cm}^4$$

Odavde $d = 5{,}8$ cm (vidi tablicu **56c**), $i = d/4 = 1{,}45$ cm. $\lambda = 130 : 1{,}45 = 89{,}5 < 105$, dakle ne vrijedi Eulerova formula. Po Tetmajeru jest: $\sigma_i = 3100 - 11{,}4 \cdot 89{,}5 = 2080$kp/cm². Faktično naprezanje na pritisak jest $\sigma_p = 12000 \left(\frac{5{,}8^2\pi}{4}\right) = 454$ kp/cm². Faktor sigurnosti $n = \sigma_i/\sigma_p = 2080 : 454 = 4{,}58 < 6{,}5$ koliko smo pretpostavili. Uzmimo stoga veći promjer $d = 6{,}7$ cm za koji je $I = 98{,}9$ cm⁴, $i = 1{,}675$ cm. $S = 35{,}3$ cm², $\lambda = 77{,}6$, $\sigma_i = 2215$ kp/cm², $\sigma_p = 340$kp/cm², $n = 2215 : 340 = 6{,}5$ dakle baš koliko smo pretpostavili (a smio bi, dakako, biti i veći). Po Tetmajeru treba dakle računati pokušavanjem.

f) ω - postupak

Upotrebljava se u građevinarstvu i za proračun stupova električkih vodova. Kod njega se nosivost računa po formuli (uz pretpostavku da sila djeluje u sredini štapa):

$$\omega F/S \leqq \sigma_{sd}$$

gdje je S presjek neoslabljenog štapa.

Izvijanje se dakle računa kao i naprezanje na zatezanje (vlak), ali se teret uzima ω puta veći. ω (»faktor izvijanja«) ovisi o materijalu i stupnju vitkosti, a može se uzeti iz tablice na strani 142:

Vrijednosti u toj tablici uzete su iz »Tehničkih propisa za gradnju nadzemnih vodova jake struje« (Sl. list FNRJ br. 24/60). VDE 0210/2.58 sadrži samo vrijednosti za C 37, a za druge materijale ne daje vrijednosti.) ω za drvo izračunat je po formulama:

$$\omega = \frac{1}{1 - 0{,}8\,(\lambda/100)^2} \text{ za } \lambda < 75 \qquad \omega = \frac{\lambda^2}{3100} \text{ za } \lambda > 75$$

56 e Faktor izvijanja ω*

$\lambda = s/i$	Materijal Čelik Č 37	Čelik Č 45	Čelik Č 52	Al-Cu-4 Mg[1])	Drvo	$\lambda = s/i$	Materijal Čelik Č 37	Čelik Č 45	Čelik Č 52	Al-Cu-4 Mg[1])	Drvo
0	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	110	2,11	2,60	3,06	6,36	3,90
10	1,00	1,00	1,00	1,00	1,01	120	2,43	3,06	3,65	7,57	4,65
20	1,04	1,05	1,06	1,03	1,03	130	2,85	3,61	4,28	8,88	5,45
30	1,08	1,10	1,11	1,18	1,08	140	3,31	4,21	4,96	10,30	6,32
40	1,14	1,17	1,19	1,39	1,15	150	3,80	4,86	5,70	11,82	7,25
50	1,21	1,26	1,28	1,66	1,25	160	4,32	5,54	6,48	13,45	8,26
60	1,30	1,36	1,41	1,99	1,40	180	5,47	6,99	8,21	17,03	10,45
70	1,41	1,51	1,58	2,57	1,65	200	6,75	8,72	10,13	21,02	12,90
80	1,55	1,68	1,79	3,36	2,06	220	8,17	10,58	12,26	25,43	15,61
90	1,71	1,92	2,05	4,26	2,61	240	9,73	12,58	14,59	30,27	18,60
100	1,90	2,23	2,53	5,25	3,23	250	10,55	13,62	15,83	32,84	20,15

* Prema »Tehničkim propisima za gradnju nadzemnih vodova jake struje«, (Sl. list FNRJ br. 24/60).

[1])Oznaka JUS za normalnu Al-Cu-Mg leguru prekidne čvrstoće 40 (do 46) kp/mm^2.

Stupnjevi vitkosti $\lambda > 250$ nisu dozvoljeni.

α) Duljina izvijanja s za metalne stupove.

Za ugaone štapove stupa uzima se $s = l$ uz uvjet da su krajevi osigurani protiv postranog izmicanja. Ako je $\lambda > 80$, smije se uzeti $s = l$ samo ako sile u štapovima stupa rastu odozgo prema dolje i ako štapovi u gornjem dijelu stupa nisu dulji nego u donjem dijelu. Inače treba uzeti $s = 1{,}1\ l$. Za upore, ako im je presjek manji od presjeka ugaonih štapova, ako su od kutnika (kutnog čelika) te ako su ugaoni štapovi od istokračnih kutnika, može se uzeti $s = 0{,}9\ l$. Inače treba uzeti $s = l$.

Štapovi koji su napregnuti i na savijanje (zbog ekscentričnog djelovanja sile F ili zbog posebnog momenta savijanja M) treba da zadovoljavaju uvjetima:

$$\frac{\omega F}{S} + 0{,}9\frac{M}{W_p} \leqq \sigma_{zd} \qquad \frac{\omega F}{S} + \frac{300 + 2\lambda}{1000} \cdot \frac{M}{W_z} \leqq \sigma_{zd}$$

W_p, W_z – momenti otpora neoslabljenog presjeka s obzirom na brid napregnut na pritisak odnosno na zatezanje, σ_{zd} – dozvoljeno zatezno naprezanje.

Samo uvjet lijevo vrijedi za štapove čije težište presjeka leži bliže bridu koji je napregnut na zatezanje (vlak). Štapove kod kojih težište presjeka leži bliže bridu napregnutom na pritisak treba računati s obzirom na oba gornja uvjeta.

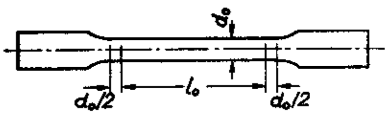
β) Duljina izvijanja s za drvene stupove.

Kod ukopanih A-stupova s = razmak od sredine klina i vijaka na vrhu do polovine ukopane duljine. Za trokrake i četverokrake piramide s = razmak od sredine klina ili vijaka na vrhu do poprečnog spoja, odnosno od poprečnog spoja do polovine ukopane duljine. Za stupove s nogarima s = razmak od sredine klina na vrhu odnosno poprečnog spoja do polovine razmaka između vijaka koji spajaju nogar sa stupom.

Za nezaklinjene dvojne stupove uzima se da je moment otpora W dvostruko veći, a za zaklinjene da je trostruko veći od momenta otpora jednog jarbola.

Ispitivanje metala

1. Definicije pojmova vidi u JUS C.A4.001. Odanle: u z o r a k — primjerak metala odabran za ispitivanje; e p r u v e t a — komad određenog oblika i mjera izrađen od uzorka; n a p r e z a n j e — omjer između sile i presjeka S_o nenapregnute epruvete.



2. Ispitivanje zatezanjem (ispitivanje na vlak) (JUS C.A4.002). Tu su obuhvaćena ispitivanja a) s v o j s t a v a o t p o r n o s t i: granice elastičnosti, granice razvlačenja i zatezne čvrstoće; b) s p o s o b n o s t i d e f o r m a c i j e: izduženja i kontrakcije; c) m o d u l a e l a s t i č n o s t i.

Epruveta može biti kružnog, kvadratnog ili pravokutnog presjeka. Omjer strana pravokutnog presjeka treba da bude najviše 4 : 1, osim za lim ispod 5 mm debljine i u drugim specijalnim slučajevima. Epruveta mora imati jednak presjek na duljini $l_o + d_o$.

V r s t i e p r u v e t a:

Normalna: $d_o = 20$ mm, $l_o = 10d_o = 200$ mm, oznaka istezanja δ_{10}.

Normalna kratka: $d_o = 20$ mm, $l_o = 5d_o = 100$ mm, oznaka istezanja δ_5.

Proporcionalna: $l_o = 10d_o = 11{,}3S_o$; d_o - proizvoljni promjer, S_o - proizvoljni presjek (ako epruveta nije okrugla), oznaka istezanja δ_{10}.

Proporcionalna kratka: $l_o = 5d_o = 5{,}65\ S_o$, oznaka istezanja δ_5.

P r o p o r c i o n a l n a odn. propocionalna kratka epruveta izrađuje se po pravilu onda kad nema na raspolaganju dovoljno materijala.

G r a n i c a p r o p o r c i o n a l n o s t i: Granično naprezanje do kojeg je omjer između sile i istezanja konstantan. G r a n i c a e l a s t i č n o s t i: Granično naprezanje kod kojega nakon prestanka sile još ne ostaju trajne deformacije materijala. G r a n i c a 0,2%. Naprezanje koje se pojavljuje kod sile koja odgovara istezanju epruvete od 0,2%. (Upotrebljava se kod nedovoljno istaknute granice razvlačenja.) G r a n i c a r a z v l a č e n j a: Granično naprezanje pri kojem za male promjene sile nastaju osjetljivo veće promjene duljine nego dotada. Z a t e z n a č v r s t o ć a (prekidna čvrstoća, čvrstoća na vlak): Omjer između najveće sile pri ispitivanju na prekid i presjeka nenapregnute epruvete. I s t e z a n j e e p r u v e t e: $\delta = 100\ (l_1 - l_0)/l_0$ u procentima, gdje je l_0 mjerna duljina nenapregnute epruvete, a l_1 mjerna duljina epruvete nakon prekida. M o d u l e l a s t i č n o s t i: Omjer između naprezanja i istezanja u elastičnom području.

3. Isptivanje na pritisak (tlak)

Normalni oblik epruvete: valjak $h = d$ (izuzetno do $h = 3d$). Pri tlačenju se gore i dolje pojavljuje tlačni konus pri kojem se materijal širi. To se ispitivanje najviše primjenjuje za sivi liv i za nemetale.

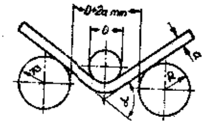
4. Ispitivanje sabijanjem (JUS C.A4.006)

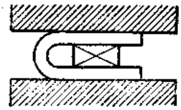
Uzorak okruglog presjeka visine h_o koja je jednaka dvostrukom promjeru ($h_o = 2d$) sabija se lakim i čestim udarcima čekića ili na presi sve do $^1/_2$ prvotne visine ako se sabija u hladnom stanju, odnosno do $^1/_3$ prvotne visine ako se sabija u vrućem stanju. Pri tome se ne smiju pokazati pukotine.

5. Ispitivanje savijanjem (JUS C.A4.005)

Epruvete imaju pravokutni, kvadratni ili okrugli presjek ako nije propisano da se čitavi profili ispituju savijanjem. Preporučuje se da duljina epruvete bude $L = 5a + 150$ mm (a - debljina epruvete, najviše 30 mm). Širina pravokutnih epruveta iznosi 30 do 50 mm. Rubovi pravokutnih i kvadratnih epruveta treba da bude zaobljeni uz $r = 0{,}1\,a$. Način ispitivanja vidi se iz

slika. (Za a do 12 mm $R = 25$ mm, za a veće od 12 mm $R = 50$ mm.) Promjer D valjka koji pritiskuje uzima se prema odredbama standarda za materijal koji se ispituje.





Ako se uređajem prema slici lijevo ne može postići propisani kut savijanja, epruveta se vadi i laganim stiskanjem krakova savija se preko umetka propisane debljine (slika desno) dok se ne pojave pukotine ili krakovi potpuno ne nalegnu jedan na drugi. Savitljivost $K = 50a/\rho$ (a - debljina epruvete, ρ - polumjer zakrivljenosti savijene epruvete).

6. Ispitivanje tvrdoće (JUS C.A4.003)

Ispituje se utiskivanjem u materijal tvrde kuglice, piramide ili konusa. Tvrdoća po Brinellu (HB) je omjer između sile kojom se utiskuje čelična kuglica i površine otiska (kalote) u materijalu. Tvrdoća po Vickersu (HV) je omjer između sile kojom se utiskuje vrh dijamantne piramide i površine otiska u materijalu. Tvrdoća po Rokwellu može se odrediti utiskivanjem čelične kugle (HRB) ili dijamantnog konusa (HRC). Broj kojim je dana tvrdoća jednak je razlici između jedne konstante i dubine otiska izražene u jedinici 0,002 mm.

Tvrdoća po Brinellu ispituje se pomoću kuglica 10, 5 ili 2,5 mm (izuzetno 2 ili 1 mm) promjera. Rezultati su uporedivi samo ako je omjer F/D^2 (F - sila, D - promjer kuglice) konstantan. Obično se uzima $F/D^2 = 30$ (tvrdoća HB 30).

7. Tablica uporednih vrijednosti raznih tvrdoća i čvrstoće

HB 30	HV	HRB	HRC	σ_z za čelik		HB 30	HV	HRB	HRC	σ_z za čelik	
				C	CrNi					C	CrNi
92	—	—	—	34		207	207	95	17	75	72
103	104	60	—	37	35	229	229	99	21	82	78
111	112	66	—	40	38	225	256	103	25	92	87
123	124	72	—	44	42	285	287	107	30	103	96
126	127	73	—	45	43	321	327	110	34	116	109
134	134	76	—	48	45	363	375	113	38	131	124
140	140	78	—	50	46	415	437	115	44	149	140
152	152	82	—	55	52	477	520	—	49	172	166
167	166	86	3	60	57	555	645	—	55	200	192
192	192	92	11	69	66	653	845	—	62	235	—

σ_z - zatezna čvrstoća, C - ugljični čelik, CrNi - krom-nikal-čelik.

8. Ispitivanje žilavosti po Charpyju (Šarpi) (JUS C.A4.004)

Žilavost po Charpyju izražava se u kpm/cm², a predstavlja rad (u kpm reduciran na cm² presjeka epruvete) koji je potrebno da obavi uteg specijalno građenog klatna da prekine zarezanu epruvetu tačno određenih mjera.

Veličina epruvete je $50 \cdot 10 \cdot 10$ mm, a žlijeb (zarez) se izrađuje cilindrično na sredini epruvete. Žlijeb može biti dubok 3, 2 ili 5 mm pa se dobije žilavost ρ_3, ρ_2 odn. ρ_5. Ove se vrijednosti žilavosti ne mogu međusobno zamjenjivati.

Trajna čvrstoća čelika
za pulzirajuće i izmjenično opterećenje

Čelik oznaka JUS	Čelik oznaka DIN	Zatezna čvrstoća kp/mm²	Granica razvlačenja kp/mm²	Izduženje δ_{10} %	Trajna čvrstoća kp/mm²: pulzir. opterećenje zatezanje	izmjenično opterećenje: zatezanje	izmjenično opterećenje: savijanje	izmjenično opterećenje: torzija
Č. 0300	St 37	37	22	23	22	12	17	10
Č. 0445	St 42	45	25	20	24,5	13,5	19	11
Č. 0545	St 50	55	31	18	32	18	24	14
Č. 0645	St 60	65	36	14	36	20	28	16
Č. 0745	St 70	75	42	10	40	23	32	19

Dozvoljena naprezanja materijala
(orijentacione vrijednosti za strojarstvo)

a) Prema priručniku »Hütte«

Vrst naprezanja		Dozvoljena naprezanja materijala u kp/mm² za materijal: čelik Č. 0300 (St 37)	čelik Č. 0545 (St 50)	čelični liv ČL. 0400 (GS 45)	sivi liv SL 14 (GG 14)	sivi liv SL 26 (GG 26)	siluminski liv	duraluminij zakaljen
Zatezanje (vlak)	I	10,0-15,0	14,0-21,0	10,0-15,0	3,5-4,5	6,5- 8,5	3,0-5,0	11,0-16,0
	II	6,5- 9,5	9,0-13,5	6,5- 9,5	2,7-3,7	5,0- 6,7	1,6-2,8	5,0- 7,0
	III	4,5- 7,0	6,5- 9,5	4,5- 7,0	2,0-3,0	3,5- 5,0	1,3-2,0	3,5- 5,5
Pritisak (tlak)	I	10,0-15,0	14,0-21,0	11,0-16,5	8,5-11,5	16,0-21,5	4,0-6,0	11,0-16,0
	II	6,5- 9,5	9,0-13,5	7,0-10,5	5,5- 7,5	10,0-13,5	2,0-2,4	5,0- 7,0
	III	4,5- 7,0	6,5- 9,5	4,5- 7,0	2,0- 3,0	3,5- 5,0	1,3-2,0	3,5- 5,5
Savijanje	I	11,0-16,5	15,0-22,0	11,0-16,5	5,0- 7,0	10,0-13,5	3,5-5,0	12,0-17,5
	II	7,0-10,5	10,0-15,0	7,0-10,5	3,5- 5,0	6,5- 9,0	2,0-2,8	5,0- 7,0
	III	5,0- 7,5	7,0-10,5	5,0- 7,5	2,5- 3,5	4,0- 6,0	1,4-2,1	3,5- 5,5
Torzija	I	6,5- 9,5	8,5-12,5	6,5- 9,5	4,0- 5,5	7,5-10,0	2,5-3,5	6,5- 9,5
	II	4,0- 6,0	5,5- 8,5	4,0- 6,0	3,0- 4,0	5,5- 7,5	1,6-2,8	3,2- 4,8
	III	3,0- 4,5	4,0- 6,0	3,0- 4,5	2,0- 3,0	3,5- 5,0	0,8-1,5	2,2- 3,2

Primjedbe uz tablicu

I — mirno opterećenje, II — pulzirajuće (promjenljivo) opterećenje (u jednom smjeru, između 0 i maksimuma), III — izmjenično opterećenje (u oba smjera, između minimuma i maksimuma).

Tablica računa sa sigurnošću prema granici razvlačenja 1,3 do 2. Najveće dozvoljeno naprezanje može biti to bliže granici razvlačenja što je materijal žilaviji i što se opterećenje dade tačnije odrediti. Za krhke materijale uzima se sigurnost prema granici razvlačenja 3 do 4.

Navedena dozvoljena naprezanja na savijanje za sivi liv vrijede za pravokutni presjek. Za okrugli presjek mogu se do 20% povećati, a za I-presjek moraju se za 20% smanjiti. Dozvoljena naprezanja na torziju za sivi liv mogu se za kvadratni presjek povećati do 40%, a za pravokutni presjek i do 60%.

Veće vrijednosti u tablici mogu se upotrijebiti samo ako se radi o jednostavnim strojnim dijelovima sa čisto obrađenom površinom s dobro zaobljenim prijelazima, bez djelovanja zareza. U slučajevima gdje opterećenja proračunom nisu precizno određena, treba upotrijebiti niže vrijednosti.

Dozvoljena naprezanja materijala za električne nadzemne vodove vidi u 231 i 234. — Podatke o oznakama materijala vidi na narednoj strani.

Dozvoljena naprezanja materijala (nastavak)

b) Prema drugim izvorima

Vrst naprezanja		Dozvoljena naprezanja u kp/mm² za čelik									
		Č.0245 (St 34)	Č.0300 (St 37)	Č.0445 (St 42)	Č.0545 (St 50)	Č.0645 (St 60)	Č.0745 (St 70)	Č.1330 (C 22)	Č.1430 (C 35)	Č.1530 (C 45)	Č.1730 (C 60)
Zatezanje*	I	12	13	14	16	20	23	15,5	18,5	20,5	24
	II	10,5	11	12,5	14	16,5	17	13,5	15	17,5	20,5
	III	8,5	9	10	10,5	12	14	10	11	13	15
Savijanje	I	12	13	14	16	20	23	16	19	21	25
	II	10,5	11	12,5	14	16,5	17	14	16	18	21
	III	8,5	9	10	10,5	12	14	11	12	14	16
Odrez	I	9,5	10,5	11	13	16	18,5	12,5	15	16,5	19,5
	II	8,5	9	10	11	13	13,5	10,8	12	14	16,5
	III	6,8	7,2	8	8,5	9,5	11,2	8,2	9	12	12
Torzija	I	7,2	7,8	8,4	9	12	13,8	9,3	11	12	13,8
	II	6,3	6,6	7,5	8,4	10	10,2	8,0	9	10,5	10,2
	III	5,1	5,4	6,0	6,3	7,2	8,4	6,2	6,8	7,8	8,4

* Jednake vrijednosti mogu se uzeti i za pritisak (tlak).

Čelici Č.0245 do Č.0745 jesu obični ugljični konstrukcioni čelici prema JUS C.B0.500 (vidi 91) odn. DIN 17 006 (ranije St 34.11 itd. prema DIN 1611), a čelici Č.1330 do Č.1730 jesu ugljični čelici za poboljšanje (kvalitetni čelici) prema JUS C.B9.021 (vidi 94) odn. DIN 17210 (ranije oznake prema DIN 1661: St C 25.61, St C 35.61, St C 45.61 i St C 60.41).

Vrst naprezanja		Dozvoljena naprezanja u kp/mm² za materijal						
		čelič. liv ČL.0300 (GS 38)	čelič. liv ČL.0400 (GS 45)	čelič. liv ČL.0500 (GS 52)	sivi liv SL 00 GG 12	sivi liv SL 26 GG 26	silu-minski liv	dur-aluminij poboljšan
Zatezanje	I	11,5	13,5	15,5	3,0	9,0	5,0	13,0
	II	8,0	8,7	9,5	2,4	7,0	2,8	8,5
	III	6,2	7,2	8,2	1,8	5,0	2,0	6,0
Savijanje	I	12,0	14,0	16,0	4,5	13,5	5,8	15,0
	II	8,5	9,0	18,0	3,0	9,0	3,2	9,8
	III	6,5	8,5	8,7	2,5	6,0	2,3	6,9
Odrez	I	9,2	10,5	12,5	3,0	11,0	4,0	9,3
	II	6,4	7,0	7,6	2,4	7,7	2,3	6,0
	III	5,0	5,8	6,7	1,8	5,0	1,6	4,3
Torzija	I	6,8	8,2	9,5	2,7	11,0	3,0	7,2
	II	5,0	5,5	6,0	1,7	7,7	1,5	4,8
	III	3,8	4,5	5,0	1,0	5,0	1,3	3,6
Pritisak	I	12,5	15,0	17,0	7,0	22,5	5,0	13,0
	II	9,0	10,0	10,5	5,0	14,0	2,8	8,5

Čelični liv (prije lijevani čelik) prema JUS C.J3.011 (vidi 105) odn. DIN 1681 (prijašnje oznake npr. St G 38.81), sivi liv (prije lijevano željezo) prema JUS C.J2.020 (vidi 107) odn. DIN 1691 (prijašnje oznake npr. Ge 12.91).

I – mirno opterećenje, II – pulzirajuće (promjenljivo) opterećenje (u jednom smjeru, između 0 i maksimuma), III – izmjenično opterećenje (u dva smjera, između minimuma i maksimuma).

Dozvoljena naprezanja čelika i željeza u građevinskim konstrukcijama

a) Prema privremenim propisima Min. građevina FNRJ (kp/cm^2)

Vrsta naprezanja	Čelik Č. 37	Kvalitetni čelik Č. 48 i bolji	Sivi liv stupovi	Sivi liv ležišta
Zatezanje (vlak)	1200	1560	250	250
Pritisak (tlak)	1200	1560	600	1000
Savijanje	1200	1560	300	300
Odrez	1000	1300	250	250
Odrez u zakovičnim spojevima	1000	1300	—	—
Bočni pritisak u zakov. spojevima	2000	2600	—	—
Odrez u vijčanim spojevima	800	1040	—	—
Bočni pritisak u vijč. spojevima	1800	2080	—	—

b) Prema DIN 1050 (kp/cm^2)

Građevni dijelovi	Vrst naprezanja		St 00 (Č.0010)	St 37 (Č.0300, Č.0360)		St 52 (Č.0465)	
			Opterećenje				
			I i II	I	II	I	II
Nosači potporni stupovi i sl.	Zatezanje, savijanje		1200	1400	1600	2100	2400
	Odrez		960	1120	1280	1680	1920
	Pritisak		1200	1400	1600	2100	2400
Zakovični spojevi	Odrez	a)	1200	1400	1600	—	—
		b)	—	—	—	2100	2400
	Bočni pritisak	a)	2400	2800	3200	—	—
		b)	—	—	—	4200	4800
Vijčani spojevi (dosjedni vijci)	Odrez	c)	960	1100	1280	—	—
		d)	—	—	—	1680	1920
	Bočni pritisak	c)	2400	2800	3200	—	—
		d)	—	—	—	4200	4800
	Zatezanje	c)	850	1000	1100	—	—
		d)	—	—	—	1500	1700

			Opterećenje I	Opterećenje II
Vijčani spojevi (sirovi vijci)	Odrez	c)	1100	1100
	Bočni pritisak	c)	1600	1800
	Zatezanje	c)	1000	1100
Sidreni vijci i svornjaci	Zatezanje	e)	850	850
		f)	1000	1100
		g)	1500	1700

Opterećenje I (glavne sile): Istovremeno nepovoljno djelovanje stalnog tereta, tereta prometa bez opterećenja vjetrom, tereta snijega.

Opterećenje II (glavne i dodatne sile): Istovremeno nepovoljno djelovanje sila navedenih pod I zajedno s opterećenjem od vjetra, kolebanjima temperature, silama kočenja i horizontalnim postranim silama kod kranova.

a) Zakovice od čelika St 34.
b) Zakovice od čelika St 44.
c) Vijci od čelika St. 38.
d) Vijci od čelika St 52.
e) Sidro od čelika St 00 (Č.0010).
f) Sidro od čelika St 37 (Č.0300 ili Č.0360).
g) Sidro od čelika St 52 (Č.0465).

59c **Dozvoljena naprezanja drveta u građevinskim konstrukcijama**
u kp/cm², prema privremenim tehničkim propisima Min. građevina FNRJ iz g. 1948.

Vrst drveta	Zatezanje	Pritisak u smjeru vlakanaca	Pritisak okomito na vlakanca	Savijanje	Odrez u smjeru vlakanaca	Odrez okomito na vlakanca
hrastovina i bukovina	100	100	50	110	20	80
hrastovina i bukovina u privremenim građevinama	130	120	60	130	30	100
borovina	100	80	15	90	12	40
smrča (čamovina)	90	50	15	80	10	30
jelovina	80	50	15	80	10	30
četinari u privremenim građevinama	130	100	18	110	15	50

Primjedba: Modul elastičnosti $E = 110\,000$ kp/cm².

60

IZ TERMODINAMIKE

1. Oznake: Q - količina topline [kcal ili J], t - temperatura [°C], T - apsolutna temperatura [°K], c - spec. toplina[1]) [kpm/kg · step. ili J/kg · step.], c_p - spec. toplina pri konstantnom tlaku, c_v - spec. toplina pri konst. volumenu, $\varkappa = c_p/c_v$ - omjer spec. toplina, R - plinska konstanta [kpm/kg · step. ili J/kg · step.], p - tlak [kp/m² ili N/m²], V - volumen [m³], v - spec. volumen [m³/kg], m - masa [kg], ρ - spec. masa ili gustoća [kg/m³], M - relativna molekularna masa, $I = U + pV$ - entalpija ili sadržaj topline [kcal ili J], U - unutarnja energija [kcal ili J], $i = I/m$ - spec. entalpija, $S = \int dQ/T$ - entropija [kcal/step. ili J/step], $s = S/m$ - spec. entropija, A - apsolutni rad [kpm ili J], A_t - tehnički rad (teoretski).

2. Rastezanje
Promjena duljine krutina $\Delta l = l_2 - l_1 = l_1 \alpha (t_2 - t_1)$
α - koeficijent linearnog rastezanja; vrijednosti vidi u **71**.
Promjena volumena krutina i tekućina:
β - koeficijent prostornog rastezanja; $\beta = 3\alpha$
Promjena volumena plinova: Vidi u **60**/20, str. 150.

3. Sila rastezanja
$F = \alpha E A (t_2 - t_1)$ [kp, step.$^{-1}$, kp/mm², mm², °C ili N, step.$^{-1}$, N/mm², mm², °C]
E - modul elastičnosti, A - presjek

4. Količina topline potrebna za zagrijavanje nekog tijela
$Q = c \cdot m\,(t_2 - t_1)$ [kcal, kcal/kg · step., kg, °C ili J, J/kg · step., kg, °C]
Specifična toplina je ona količina topline koja je potrebna da se temperatura 1 kg nekog tijela povisi za 1° C. (Specifične topline za razne materijale vidi u **71** i **74**.) Toplinski kapacitet C nekog tijela je ona količina topline koja je potrebna da se temperatura cijelog tijela povisi za 1° C. ($C = c \cdot m$)

5. Toplina taljenja je ona količina topline (u kcal ili J) koja je potrebna da se 1 kg neke tvari prevede pri svojoj temperaturi taljenja bez povišenja temperature iz krutog u tekuće stanje. Brojčane vrijednosti vidi u **71**.

[1]) To je količina topline koja je potrebna da se 1 kg neke tvari ugrije za 1 stupanj (stepen).

6. Toplina isparavanja je ona količina topline (u kcal ili J) koja je potrebna da se 1 kg neke tvari prevede pri svojoj temperaturi ključanja bez povišenja temperature i vanjskog tlaka iz tekućeg u plinovito stanje. Toplina isparavanja za vodu = 539,1 kcal/kg.

7. Toplina sagorijevanja (kcal/kg ili J/kg) (prije: gornja ogrjevna moć) nekog goriva je ona količina topline koja nastane kad 1 kg krutina ili tekućina odn. 1 m^3 plinova potpuno sagori, proizvodi sagorijevanja se ohlade na početnu temperaturu i voda koja je nastala sagorijevanjem ili ona koja se nalazila u gorivu kondenzira se u tekuće stanje.

8. Ogrjevna moć H (kcal/kg ili J/kg) (prije donja ogrjevna moć) manja je od topline sagorijevanja za toplinu isparavanja vode. Određuje se kalorimetrički ili računski na osnovu podataka elementarne analize:

$$H = 8100\,\mathrm{C} + 29000\left(\mathrm{H} - \frac{\mathrm{O}}{8}\right) + 2500\,\mathrm{S} - 600\ (\mathrm{H_2O}) \qquad [\mathrm{kcal/kg}]$$

Elementi C, H, O i S te higroskopska voda u kg/kg. Za plinove, reducirano na 1 m^3 plinskog goriva, pri 15^0 C i 1 ata:

$$H = H^{kg} \cdot (M/24{,}4) \qquad [\mathrm{kcal/m^3}]$$

Vrijednosti za pojedina goriva vidi u **66** do **69**.

9. Teoretski potrebna količina zraka Z_o za potpuno sagorijevanje

$$Z_o = 4{,}3\ (2{,}67\,\mathrm{C} + 8\,\mathrm{H} + \mathrm{S} - \mathrm{O}) \qquad \text{kg/kg goriva}$$
$$Z_o = 3{,}33\ (2{,}67\,\mathrm{C} + 8\,\mathrm{H} + \mathrm{S} - \mathrm{O}) \qquad \mathrm{m^3/kg}\ \text{goriva}\ (0^0\,\mathrm{C},\ 760\ \mathrm{mm\,Hg})$$

Elementi C, H, S i O u kg/kg.

Eksplozionim motorima treba oko 1 m^3 zraka za svakih 1000 kcal u gorivu.

10. Stvarno potrebna količina zraka Z za sagorijevanje

$Z = nZ_o$ (n - pretičak zraka)

Za ugljen $n = 1{,}3$ do 2, za ulje 1,1 do 1,4, za plin 1,0 do 1,3. Previše zraka uzrokuje termičke gubitke zbog hlađenja, premalo zraka uzrokuje termičke gubitke zbog nepotpunog sagorijevanja. Eksplozioni motori imaju najveću korisnost (najmanji potrošak goriva za $n \approx 1{,}1$, a razvijaju najveću snagu ako je $n = 0{,}9$ do 0,95 (premalo zraka).

11. Mehanički ekvivalent topline A je onaj mehanički rad što ga može izvršiti 1 kcal:

$$A = 427\ \mathrm{kpm} = 4187\ \mathrm{J}\ (\text{džul})$$

12. Prvi glavni stavak termodinamike: Budući da je toplina oblik energije, može se ona pretvoriti u svaki drugi oblik energije.

13. Drugi glavni stavak termodinamike: Od svake količine topline visoke temperature može se pretvoriti u mehanički rad samo jedan dio, a drugi dio ostaje kao toplina niže temperature.

14. Entropija i je koeficijent iz količine topline Q i apsolutne temperature te količine topline: $i = Q/T$.

15. Richmanovo pravilo miješanja: Što jedno tijelo na toplini izgubi, dobiva drugo.

16. Atomna toplina je umnožak specifične topline i atomne težine (mjeri se u kcal ili J).

17. Dulong-Petitov (Dilon-Ptiov) **zakon:** a) Atomna toplina kemijskih elemenata u krutom stanju je za sva tijela približno jednaka (6,0 kcal.). b) Atomna toplina elementarnih plinova je za sve plinove približno jednaka (3 kcal).

18. Avogadrov zakon

Molni volumen $V_M = M/\rho = 22{,}41$ Nm^3/kmol za sve potpune plinove.

1 Nm^3 (normalni ili normni kubni metar) nekog plina je toliko kilograma toga plina koliko se nalazi u jednom kubnom metru pri 760 mm Hg (1 atm) i 0^0 C, tj. toliko kg koliko iznosi njegova gustoća ρ. 1 kmol (kilomol) nekog plina je toliko kilograma tog plina koliko iznosi njegova relativna molekularna masa M. Relativna molekularna masa dobije se pomoću relativnih atomnih masa na strani 151. Npr. za CO $12{,}010 + 16{,}00 = 28{,}010$; vidi i tablicu 76.

19. Jednadžba stanja plinova

$$pV = mRT \quad \text{ili} \quad pv = RT \quad \text{ili} \quad p/\rho = RT$$

Odavle $\dfrac{pV}{T} = \dfrac{p_0 V_0}{T_0}$ To je (udruženi) Boyle-Gay-Lussacov zakon.

Plinska konstanta R može se izračunati iz

$$MR = 848 \text{ kpm/kg} \cdot \text{step.} = 8315 \text{ J/kg} \cdot \text{step.}$$

20. Promjene stanja plinova

a) Izobara: $p = \text{konst.}$; $V/T = mR/p = \text{konst.}$ (Gay Lussacov zakon)

$$V_1/V_2 = \rho_2/\rho_1 = T_1/T_2$$

Odavle: $V = V_o\left(1+\dfrac{t}{273}\right)$. Kad ih grijemo uz konstantan tlak, plinovi se rastežu za 1/273 svojeg volumena pri 0^0 C.

$$A = p(V_2 - V_1) = mR(T_2 - T_1); \quad Q = \frac{\varkappa}{\varkappa - 1} A$$

b) Izohora: $V = \text{konst.}$; $p/T = mR/V = \text{konst.}$; $p_1/p_2 = T_1/T_2$

Uz konstantnu temperaturu, tlak i volumen nekog plina obrnuto su proporcionalni.

$$A = 0; \quad Q = mc_v\,(T_2 - T_1) = \frac{V}{\varkappa - 1}(p_2 - p_1)$$

c) Izoterma: $T = \text{konst.}$; $pV = mRT = \text{konst.}$ (Boyle-Mariottov zakon)

$$p_1V_1 = p_2V_2; \quad A = p_1V_1 \ln\frac{p_1}{p_2}; \quad Q = A = T\,(S_2 - S_1)$$

d) Adijabata $S = \text{konst.}$; $pV^{\varkappa} = TV^{\varkappa - 1} = \text{konst.}$

(Adijabatska promjena stanja je takva promjena stanja za vrijeme koje se toplina ni ne privodi plinu niti se od njega ne odvodi.)

$$A = \frac{1}{\varkappa - 1}(p_1V_1 - p_2V_2) = mc_v(T_1 - T_2)$$

$$A_t = \varkappa A = mc_p(T_1 - T_2) = I_1 - I_2 = m(i_1 - i_2); \quad Q = 0$$

e) Politropa predstavlja takvu općenitu promjenu stanja pri kojoj je promjena temperature razmjerna s dovedenom ili odvedenom toplinom.

$$pV^n = \text{konst., gdje je } n = \frac{c - c_p}{c - c_v} \qquad c = c_v\frac{n - \varkappa}{n - 1}$$

$$A = \frac{mR}{n - 1}(T_1 - T_2); \quad A_t = nA; \quad Q = \frac{\varkappa - n}{\varkappa - 1}A$$

Politropa obuhvaća promjene stanja od a) do d) kao specijalne slučajeve.

Prijenos topline

61

1. Vođenje topline

Toplinski tok: $\Phi = 3{,}6\,\lambda\,\frac{A}{\delta}\,(t_1 - t_2)$ kcal/h*

λ - toplinska vodljivost u cal/cm · s · step. (vidi 71, str. 162), A - presjek u cm^2 kroz koji prolazi toplina, δ - debljina stijene u cm kroz koju prolazi toplina, $t_1 - t_2$ - temperaturna razlika.

2. Prijenos topline dodirom (od tekućina ili plinova na krutine ili obratno)

Toplinski tok = $\Phi = \alpha A\,(t_1 - t_2)$ kcal/h*

α - koeficijent prijenosa topline u kcal/m^2 · step · h.

Za zrak, za brzinu strujanja v do 5 m/s $\alpha = 5 + 3{,}4\,v$.

Za zrak, za v iznad 5 m/s $\alpha = 6{,}14\,v^{0{,}78}$.

Za vodu: $\alpha = 300 + 1800\,\sqrt{v}$; ako voda ključa je $\alpha = 3000$ do 6000.

Za kondenzirajuću paru $\alpha \approx 10\,000$, za pregrijanu paru $\alpha \approx 100$.

3. Isijavanje

Toplinski tok = $\Phi = \varepsilon A\,[(T_1/100)^4 - (T_2/100)^4]$ kcal/h*

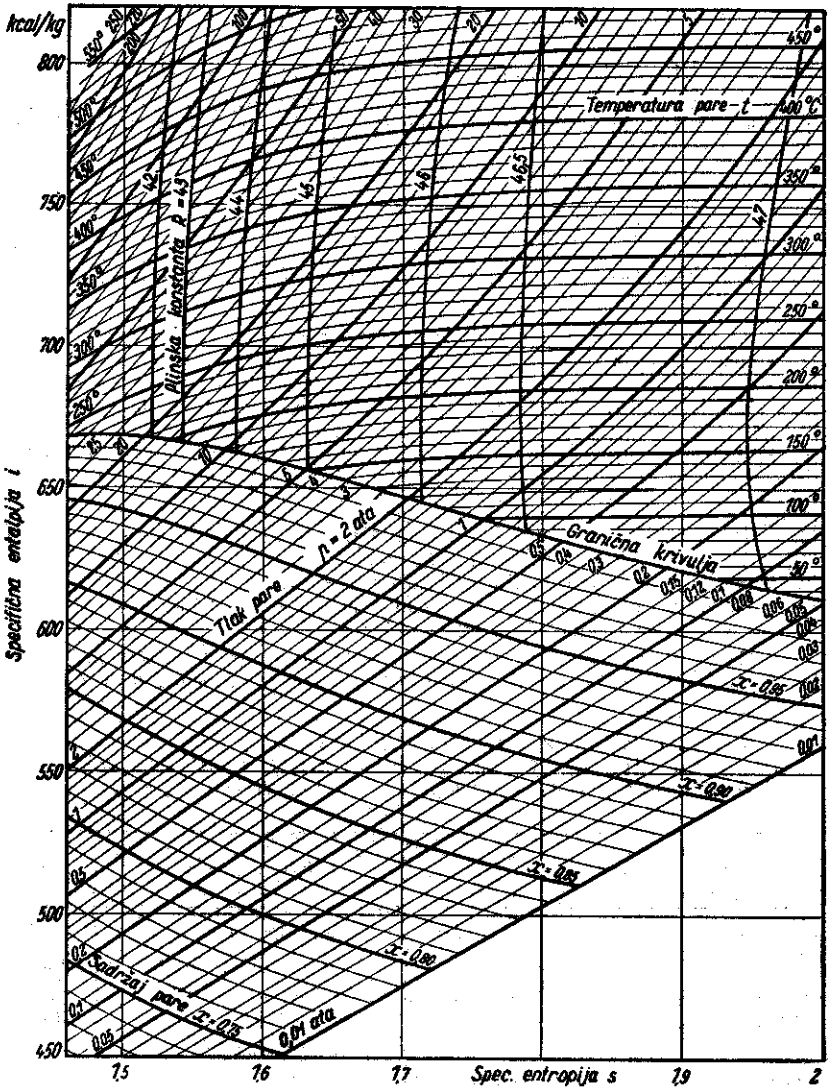
ε - koeficijent isijavanja topline u kcal/m^2 · step.^{4}, A - površina koja isijava u kvadratnim metrima, T_1, T_2 - temperatura u ^{0}K. Vrijednosti ε za neke materijale jesu:

Vrst površine	ε	Vrst površine	ε
Apsolutno crno tijelo	4,96	Mjed polirana	0,25
Aluminij neobrađen	0,35	Poniklani lim poliran	0,30
Aluminij poliran	0,26	Poniklani lim mutan	0,55
Bakar poliran	0,20	Staklo glatko	4,65
Bakar slabo poliran	0,85	Porculan glaziran	4,6
Bakar oksidiran	~3	Mramor	4,6
Čelik poliran	1,42	Cigla	4,6
Čelik narđao	~3	Vapnena žbuka	4,6

* Da se ove vrijednosti dobiju u vatima, treba izračunate vrijednosti pomnožiti sa 1,16.

62

Dijagram *i - s* za vodenu paru



Primjer za parnu turbinu: Stanje pare na ulazu: $p_1 = 36$ ata, $t_1 = 435^0$ C ($i_1 = 787$ kcal/kg). Tlak u kondenzatoru $p_2 = 0{,}04$ ata. Teoretski rad turbine dobije se spuštanjem okomice u dijagramu *i-s* (adijabatska ekspanzija) iz tačke za 36 ata, 435^0 C do krivulje za 0,04 ata kojoj odgovara $i_2 = 499$ kcal/kg: $A_t = i_1 - i_2 = 288$ kcal/kg. Uz $\eta_t = 0{,}80$ dobije se korisni rad turbine

$A = 230$ kcal/kg. Krajnje stanje pare dobije se tako da se na nacrtanoj adijabati od tačke koja odgovara razlici $787 - 230 = 557$ kcal/kg povuče horizontala (izohora) do sjecišta s krivuljom za $p_2 = 0,04$ ata. Dobijemo $x = 0,92$. Specifični potrošak pare m_{sp} za gornji primjer i η_g (generatora) $= 0,96$ dobije se iz: $m_{sp} = 860/(\eta_g A) = 3,90$ kg/kWh.

Ako je kod protutlačnih turbina raspoloživa količina pare m_p (kg/h), tada je iskoristiva snaga $P = m_p/m_{sp}$.

Evo kako se izračunava specifični volumen vodene pare:

$$\text{Za pregrijanu paru: } v = \frac{RT}{p} \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{kg} \qquad (a)$$

$$\text{Za vlažnu paru: } v = v_z \cdot x \text{ m}^3/\text{kg} \qquad (b)$$

R i p iz dijagrama i-s, $T = 273 + t$ (t iz dijagrama), v_z - spec. volumen pri istom tlaku u suhom, zasićenom stanju; izračuna se po formuli (a) tako da se za R i t uvrste vrijednosti dobivene za tlak p na graničnoj krivulji dijagrama i - s ili se izvadi iz tablice 63, x - omjer između količine izlučene pare i ukupne količine pare i vode ($x = 0$ — sama voda, $x = 1$ — suha, zasićena para).

Tablica zasićene vodene pare **63**

Apsolutni tlak pare ata	Temper. zasićenja °C	Specifični volumen m³/kg	Apsolutni tlak pare ata	Temper. zasićenja °C	Specifični volumen m³/kg	Apsolutni tlak pare ata	Temper. zasićenja °C	Specifični volumen m³/kg
0,02	17,20	68,27	3,5	138,19	0,5335	36	243,04	0,05658
0,04	28,64	35,46	4,0	142,92	0,4706	38	246,17	0,05353
0,06	35,82	24,19	4,5	147,20	0,4213	40	249,18	0,05078
0,08	41,16	18,45	5,0	151,11	0,3816	45	256,23	0,04495
0,10	45,45	14,95	6,0	158,08	0,3213	50	262,70	0,04024
0,20	59,67	7,795	7,0	164,17	0,2778	55	268,69	0,03636
0,30	68,68	5,328	8,0	169,61	0,2448	60	274,29	0,03310
0,40	75,42	4,069	9,0	174,53	0,2189	65	279,54	0,03033
0,50	80,86	3,301	10	179,04	0,1981	70	284,48	0,02795
0,60	85,45	2,783	12	187,08	0,1664	80	293,62	0,02404
0,70	89,45	2,409	14	194,13	0,1435	90	301,92	0,02096
0,80	92,99	2,125	16	200,43	0,1262	100	309,53	0,01845
0,90	96,18	1,904	18	206,14	0,1126	110	316,58	0,01637
1,0	99,09	1,725	20	211,38	0,1016	120	323,15	0,01462
1,2	104,25	1,455	22	216,23	0,09251	130	329,30	0,01312
1,4	108,74	1,259	24	220,75	0,08492	140	335,09	0,01181
1,6	112,73	1,111	26	224,99	0,07846	150	340,56	0,01065
1,8	116,33	0,9952	28	228,98	0,07288	160	345,74	0,00962
2,0	119,62	0,9016	30	232,76	0,06832	180	355,35	0,00781
2,5	126,79	0,7316	32	236,35	0,06375	200	364,08	0,00620
3,0	132,88	0,6166	34	239,77	0,05995	225,6	374,2	0,00304

Mjerenje temperature

Vrst termometra odn. način mjerenja temperature	Izvedba	Mjerno područje °C
Tekućinski termometri sa staklenom cjevčicom	živa sa vakuumom	— 30 do 280
	živa sa dušikom 20 at	— 30 do 800
	pentan	—200 do 20
	alkohol	—110 do 50
	toluol	— 80 do 100
	kreozot	— 40 do 180
	rezol	—250 do 300
Tekućinski termometri s oprugom	živa 100 do 150 at	— 35 do 600
	alkohol	— 20 do 500
Parni termometri s oprugom	etilni eter, toluol, ksilol	—200 do 360
Dilatacioni štapni termometri	Al, Mj, Ni, NiCr	do 1000
Bimetalni termometri	legure NiFe	— 30 do 400
Otporni termometri	bakar	— 50 do 150
	nikal	— 60 do 180
	platina	—220 do 550 (750)
Termočlanci	bakar — konstantan	—200 do 400 (600)
	manganin — konstantan	—200 do 400 (600)
	željezo — konstantan	—200 do 700 (900)
	kromnikal — nikal	0 do 1000 (—200 do 1200)
	platinarodij — platina	0 do 1300 (—100 do 1600)
Pirometri s potpunim isijavanjem		— 80 do 3500
Pirometri s djelomičnim isijavanjem		800 do 1800
Mjerne boje (termokolori)	predmet se premaže	40 do 650
Termokromi	predmet se premaže	65 do 600
Metalna mjerna tijela	metali ili legure	100 do 1600
Seegerovi stošci	keramički materijali	600 do 2000

Talište Seegerovih stožaca

Broj	°C	Broj	°C	Broj	°C	Broj	°C	Broj	°C	Broj	°C
022	600	012a	855	02a	1060	9	1280	19	1520	34	1750
021	650	011a	880	01a	1080	10	1300	20	1530	35	1770
020	670	010a	900	1a	1100	11	1320	26*	1580	36	1790
019	690	09a	920	2a	1120	12	1350	27	1610	37	1825
018	710	08a	940	3a	1140	13	1380	28	1630	38	1850
017	730	07a	960	4a	1160	14	1410	29	1650	39	1880
016	750	06a	980	5a	1180	15	1435	30	1670	40	1920
015a	790	05a	1000	6a	1200	16	1460	31	1690	41	1960
014a	815	04a	1020	7	1230	17	1480	32	1710	42	2000
013a	835	03a	1040	8	1250	18	1500	33	1730		

Podaci prema Chemisches Laboratorium für Tonindustrie, Berlin.

* Brojevi 21 do 25 ne upotrebljavaju se zbog malih temperaturnih razlika.

UGLJEN

Sortiman ugljena

prema privremenom standardu JUS B.H0.001/1952

Naziv	Oznaka	Kameni ugljen donja granica mm	Kameni ugljen gornja granica mm	Mrki ugljen donja granica mm	Mrki ugljen gornja granica mm	Lignit donja granica mm	Lignit gornja granica mm
Komad	A	60—80	N	60	N	80—120	N
Kocka	B	30	60—80	30—40	60—65	40—65	80—120
Orah	C	15—20	30	15—20	30—40	20—35	40—65
Grah	D	5—10	10—20	5—10	15—20	10—20	20—35
Griz	E	—	—	3—5	10	5—10	10—20
Prah	F	—	—	—	3—5	—	5—10
Sitan	G	—	5—10	—	10—20	—	10—20

N — neodređeno

Donja i gornja granica sortimana određena je za svaki rudnik. (Vidi u »Tehničkom cenovniku« Uprave za cijene pri Ministarstvu finansija FNRJ, izdanje Službenog lista FNRJ 1951.) U ugovorenom sortimanu ugljena smije biti nižeg zrna (podzrna): za kameni ugljen 12%, mrki ugljen 10%, lignit 8%. Sa svakim pretovarom ovaj se dozvoljeni postotak povećava za 50%.

Rovni ugljen je ugljen kakav se vadi iz jame (nesortiran) poslije odvajanja grube (uočljive) jalovine.

Ugljen ne smije sadržavati grube (uočljive) jalovine više od 5%.

Izračunavanje ogrjevne moći ugljena

pomoću službenog faktora *F* prema Privr. JUS B.H0.001

Ako je sadržaj pepela p % i ukupna (utovarna) vlaga v %, tada iznose sagorljive tvari S:

$$S = 100 - (p + v)\ \%$$

Računska donja ogrjevna moć H_u iznosi tada:

$$H_u = F \times S$$

gdje je F službeni faktor naveden u prilogu 1 uz Privr. JUS B.H0.001 (vidi tablicu 66).

Uzimanje i obrada uzoraka za ispitivanje ugljena — vidi Privr. JUS B.H9.001/1952.

Metode ispitivanja ugljena — vidi Privr. JUS B.H9.002/1952.

Primjedbe uz tablicu osnovnih karakteristika ugljena na stranama 154 i 155.

Podaci za tablicu, osim za zadnja 3 stupca i osim za ugljenike gdje je to izričito napomenuto, uzeti su iz knjige »Pregled analiza uglja«, izdanje Željezničkog instituta, Beograd 1957.

[1]) Vrijednosti A jesu srednje vrijednosti dobivene pri kompletnim analizama ugljena u 1956. godini, a vrijednosti B jesu srednje vrijednosti (godišnji prosjek) iz tehničkih analiza pepela i vlage u 1955. godini. Vrijednosti B jesu prema tome prosjeci iz mnogo većeg broja analiza. Zvijezdicom* su označene one vrijednosti pod B, koje su dobivene kao prosjek manje od 10 analiza.

[2]) Ovo je ukupna (takozvana utovarna) vlaga. Za A i B vidi pod [1]).

[3]) Vrijednosti A jesu vrijednosti iz navedenog »Pregleda analiza uglja« Željezničkog instituta prema analizama u 1956. godini. Vrijednosti B izračunao je autor ovog priručnika pomoću službenih koeficijenata F i podataka za pepeo i vlagu navedenih pod B.

[4]) Iz Priloga 1 uz Privr. JUS B.H0.001/1952.

[5]) Iz članka inž. Mihajlova: »Glavne karakteristike naših ugljena i njihovo sagorijevanje u parnim kotlovima« (Elektroprivreda 1950., broj 11, str. 451).

* Vidi pod [1]). ** Službeni list FNRJ 12/1957.

+ Prema »Tehničkom cenovniku« Uprave za cijene pri Ministarstvu finansija FNRJ, izdanje Službenog lista FNRJ 1951.

OSNOVNE KARAKTERISTIKE UGLJENA SFRJ

Rudnik i socijalistička republika	Sortiman	Pepeo[3]) A %	Pepeo[3]) B %	Vlaga[2]) A %	Vlaga[2]) B %	Sumpor ukupni %	Hlapljive tvari %	Donja ogrjevna moć A kcal/kg	Donja ogrjevna moć B kcal/kg	Faktor F[8])	Temp. taljenja pepela[4]) °C
I. Kameni ugljen											
Dobra sreća Sr	rovni	29,8	28,9	5,0	4,3	7,9	27,5	5108	5470	82,0	910
Ibarski Sr	orah	31,0	31,3	5,7	4,3	5,7	26,1	4882	5230	81,3	—
Kršan H	komad	15,0	12,3	1,5	1,8	11,5	47,1	6421	—	—	—
Podvis Sr	rovni	25,7	23,5	7,0	7,3	7,3	32,6	4863	5190	75,0	—
Raša H	kocka	10,8	10,8	2,8	2,4	10,7	44,7	6506	6760	78,0	1260
	prah	12,5	12,9	4,3	6,1	10,2	42,9	6173	6320	78,0	
Rtanj Sr	3—30 mm	39,0	35,3	3,5	2,1	6,2	16,2	4366	5010	80,0	1150
Sečovlje Sl	kocka	19,0	14,3*	3,9	5,1*	11,0	44,2	5478	—	—	—
II. Mrki ugljeni											
Aleksinac Sr	0—30 mm	12,9	13,1	23,6	23,0	5,3	31,6	4310	4470	70,0	—
Banovići BiH	komad	15,4	21,4	21,9	21,7	1,5	32,4	4243	3780	66,6	1160
Banovići-Živinice BiH	komad	18,9	26,8	15,9	11,8	2,5	32,2	4393	4080	66,6	—
Banja Luka BiH	kocka	17,0	24,7	28,3	26,2	5,0	30,7	3309	3040	62,0	—
Bogovina Sr	rovni	16,2	17,1	25,6	23,1	3,0	28,8	3621	3940	66,0	1010
Breza BiH	komad	19,0	20,3	16,4	14,8	2,8	32,4	4324	4410	68,0	—
Breza-Goruša BiH	komad	16,2	25,1	14,8	13,8	2,1	33,2	4552	4150	68,0	—
Despotovački Sr	kocka	9,0	10,8	36,6	36,1	2,7	29,4	3183	—	—	—
Golubovec Novi H	krupni	13,6	19,4	12,2	13,9	4,0	33,5	4895	4330	65,0	—
Golubovec Stari H	rovni	25+	16,6*	15+	13,4*	5+		3900+	4550	65,0	—
Gorjevnica Donja Sr	orah	13,8	14,6	33,1	34,7	3,5	27,6	3177	—	—	—
Ivanopolje H	grah	23,7	28,6*	15,2	15,3*	3,8	29,5	3988	3560	63,5	—
Jelašnica Sr	komad	12,5	13,6	22,7	23,3	3,8	34,3	4031	3910	62,0	—
Kakanj BiH	kocka	22,6	23,5	9,0	8,7	2,4	34,5	4763	4810	71,0	1160
Kakanj-Roščevina BiH	rovni	29,9	33,1	8,4	8,1	3,1	32,6	4090	4170	71,0	—
Kanjižarica Sl	komad	16,2	11,7*	28,5	29,1*	2,4	30,8	3299	3550	60,0	—
Kočevje Sl	komad	13,4	12,9	28,7	30,3	3,1	34,7	3498	3520	62,0	1270
Krapina H	rovni	26,0+	18,8*	15,0+	16,2*	2,5**		3830+	4090	63,0	—
Laško Sl	komad	8,6	8,7*	19,8	21,2*	1,1	37,0	4579	4691	64,0	—
Mezgraja BiH	kocka	19,1	18,2	26,4	27,2	4,5	33,1	3365	3380	62,0	—

Mostar BiH	komad	25,7	22,2	12,8	18,9	4,4	34,2	3774	3770	64,0	1080
Mursko Središće H	orah	17,9	18,3*	32,8	32,8*	1,1	26,2	3057	3050	62,5	—
Pregrada H	orah	19,0	20,9*	16,6	16,0*	3,9	31,8	4221	4100	65,0	—
Ravna Reka Sr	komad	11,7	14,6	22,3	21,8	0,7	34,4	4204	—	—	1240
Resava Sr	komad	13,3	14,7	20,2	22,5	1,3	34,5	4199	—	—	1220
Senovo Sl	kocka	14,8	15,7	20,4	20,8	3,3	33,1	4116	4030	63,4	—
Senjsko-Resavski Sr	briket	17,2	16,9	10,3	8,7	1,6	39,3	4854	4690	63,0	1250
Siverić H	rovni rešetani	15,8	17,6	17,8	18,2	5,9	36,3	4052	4050	63,0	1320
Soko Sr	komad	13,9	17,3	27,9	27,4	2,7	32,7	3502	3480	63,0	—
Stamnica Sr	kocka	21,9	27,0	28,0	25,6	2,8	28,7	2929	2840	60,5	—
Trbovlje Sl	kocka	12,2	15,8	22,5	22,5	2,6	33,2	4076	3910	63,4	1160
Ugljevik BiH	kocka	16,7	16,9	36,8	36,2	4,2	28,7	2793	2910	62,0	—
Vrdnik Sr	orah	30,9	27,7	20,1	20,0	0,8	25,3	2957	3470	66,4	1160
Zabukovca Sl	komad	12,4	16,0	22,8	22,0	2,2	31,6	4141	4060	65,5	—
Zagorje Sl	komad	11,7	11,1	22,9	22,5	2,2	33,3	4165	4210	63,4	1150
Zenica BiH	kocka	18,2	21,0	16,8	15,9	4,0	35,2	4276	4100	65,0	995
III. Ligniti											
Bregi H	orah	21,1	18,1	34,4	35,2	1,8	25,7	2523	2730	58,5	—
Bukinje (Kreka) BiH	komad	5,9	8,0	39,4	38,3	0,8	29,4	3228	3120	58,0	1150
Čičavica Sr	iznad 45 mm	12,0	14,9	45,8	44,0	1,1	25,0	2242	—	—	—
Ivanec H	rovni	16,0+	—	36,0+	—	0,8+		2770+	—	57,8	1100
Kolubara Sr	komad	8,1	8,4	52,4	51,5	0,7	23,6	2083	2120	53,0	1135
Kostolac Novi Sr	rovni			44,2				2102		51,2	1120
Konjščina Gornja H	kocka	16,3	17,0*	39,5	40,1*	1,3	26,6	2417	2450	57,0	—
Kosovo Sr	komad	13,9	13,5	46,5	46,1	1,3	23,3	2097	2100	52,0	1010
Ladanje Donje H	orah	16,8	18,7*	37,4	37,4*	1,8	27,0	2486	2540	57,8	—
Lipnica BiH	komad	4,8	7,7	42,6	40,4	0,7	30,7	3033	—	—	—
Lubnica Sr	komad	10,2	11,2	57,2	36,5	1,0	28,1	3155	3100	59,2	—
Moluha BiH	komad	4,3	6,1	38,1	37,7	0,4	32,6	3366	—	—	—
Plevlje CG	komad	10,8	—	28,9	—	1,0	32,0	3507	—	—	—
Travnik Sr	rovni rešetani	9,6	12,0	38,6	36,5	2,4	30,2	2986	—	—	—
Velenje Sl	kocka	8,3	8,5*	43,4	42,2	1,8	28,1	2610	2710	55,0	1190

Primjedbe uz tablicu vidi na strani 155.

67

Prosječne ogrjevne moći drveta

(prosušenog, sa 15 % vlage)

Vrst drveta	Donja ogrjevna moć			Vrst drveta	Donja ogrjevna moć		
	kcal/kg	kcal/m³ $\times 10^6$	kcal/pm* $\times 10^6$		kcal/kg	kcal/m³ $\times 10^6$	kcal/pm* $\times 10^6$
ariš	3550	2,08	1,46	grab	3180	2,64	1,85
bagrem	3575	2,73	1,92	hrast	3450	2,38	1,67
bor	4050	2,10	1,47	javor	3280	2,07	1,45
brijest	3511	2,38	1,67	jela	3690	1,66	1,16
breza	3685	2,48	1,74	kesten	3174	1,81	1,27
bukva	3545	2,56	1,79	smreka	3725	1,75	1,22

* pm = prostorni metar = 0,7 m³

Prema: Ugrenović, Tehnologija drveta, Zagreb 1950.

Utjecaj vlage na ogrjevnu moć drveta

Za različite relativne vlažnosti drveta treba vrijednosti u gornjoj tablici pomnožiti s ovim faktorima:

Vlaga %	0	5	10	15	20	25	30	35	40
Faktor	1,22	1,15	1,08	1	0,93	0,86	0,80	0,73	0,65

Vlažnost drveta

Posve suho drvo	0 %
Prosušeno drvo	
a) sobno-suho	8 — 12 %
b) zrako-suho	12 — 18 %
c) brodo-suho	18 — 22 %
Provelo drvo	22 — 40 %
Sirovo odn. napojeno drvo .	40 % i više

Prema: Ugrenović, Tehnologija drveta, Zagreb 1950.

Ogrjevne moći tekućih goriva

Naziv	Kemijska formula	Specifična masa kg/dm³	Ogrjevna moć kcal/kg	
			gornja	donja
Automobilski benzin		0,710—0,755	11180	10400
Avionski benzin		0,710—0,755	11280	10500
Aral (benzin-benzol)		0,783		9740
Mazut (ulje za loženje)				
laki		≈ 0,895	10700	10050
teški		≈ 0,949	10500	9880
Petrolej		0,800—0,820	11200	10460
Plinsko ulje (za dizelske motore)				
lako		0,793	11200	10460
teško		0,870	10980	10310
Špirit 95 % (težinskih)		0,809	6730	6030
„ 90 % „		0,823	6380	5690
„ 85 % „		0,836	6020	5330
Aceton	CH_3COCH_3	0,797	7560	7000
Alkohol	C_2H_6O	0,794	7090	6390
Benzol (čisti)	C_6H_6	0,884	10030	9620
Butil-alkohol (butanol)	C_4H_9OH	0,800	8700	7970
Dekalin	$C_{10}H_{18}$	0,877	10870	10160
Etil-alkohol (etanol)	C_2H_5OH	0,794	7093	6435
Eter etilni	$(C_2H_5)_2O$	0,714	8800	8070
Eter isopropilni	$(C_3H_7)_2O$	0,726	9400	8660
Heksan	C_6H_{14}	0,658	11500	10630
Heptan	C_7H_6	0,683	11470	10610
Ksilol (čisti)	C_8H_{10}	0,868	10280	9770
Metil-alkohol (metanol)	CH_3OH	0,800	5421	4762
Naftalin (čisti)[1]	$C_{10}H_8$	0,977[2]	9615	9280
Oktan	C_8H_{18}	0,700	11420	10570
Pentan[3]	C_5H_{12}	0,627	11550	10650
Propil-alkohol (propanol)	C_3H_7OH	0,804	8100	7380
Tetralin	$C_{10}H_{12}$	0,973	10150	9660
Toluol (čisti)	C_7H_8	0,870	10180	9720

[1] Talište 80° C. [2] Pri 80° C. [3] Vrelište 37° C.

69 a

Ogrjevne moći tehničkih plinova

Naziv plina	Kemijska formula	Molekularna težina	Molni volumen pri 0°C i 1 Atm	Specifična masa pri 0°C i 1 Atm	Ogrjevna moć gornja	Ogrjevna moć donja
			Nm^3/kmol	kg/Nm^3	kcal/Nm^3	
Ugljični oksid	CO	28,00	22,40	1,25	3020	3020
Vodik	H_2	2,016	22,43	0,09	3050	2570
Metan	CH_4	16,03	22,36	0,72	9520	8550
Acetilen	C_2H_2	26,02	22,22	1,17	14090	13600
Etilen	C_2H_4	28,03	22,24	1,26	15290	14320
Etan	C_2H_6	30,05	22,16	1,36	16820	15370
Propilen	C_3H_6	42,05	21,96	1,91	22540	21070
Propan	C_3H_8	44,06	21,82	2,02	24320	22350
Butilen	C_4H_8	56,06	22,40	2,50	29110	27190
Butan normalni	C_4H_{10}	58,08	21,49	2,70	32010	29510
Izobutan	C_4H_{10}	58,08	21,77	2,67	31530	29050
Benzolne pare	C_6H_6	78,05	22,40	3,48	35310	33870

Primjedbe:

a) Nm^3 (normalni ili normni kubni metar) nekog plina je toliko kilograma tog plina koliko se nalazi u jednom kubnom metru pri 760 mm Hg (1 atm) i 0° C.

b) 1 mol nekog plina je toliko grama toga plina koliko iznosi njegova molekularna težina. 1 kmol (kilomol; Mol) = 1000 mola = toliko kilograma toga plina koliko iznosi njegova molekularna težina.

69 b

Ogrjevne moći plinskih smjesa

Naziv	Donja ogrjevna moć kcal/Nm^3*	Naziv	Donja ogrjevna moć kcal/Nm^3*
Zemni plin (prirodni)	8000—9000 (do 14000)	Plin iz koksana	4000—4700
Rasvjetni plin		Generatorski plin	
iz plinskog kamenog ugljena	4100—4300	zračni	1100—1350
		vodeni	2400—2600
iz domaćih ugljena uz dodatak zemnog plina (Zagreb)**	≈ 3700	miješani	1300—2000
		Grotleni plin	700—1000

* Vidi primjedbu a) uz tablicu 69a.

** Vidi tablicu 76.

MATERIJALI

Važniji kemijski elementi — oznake, relativne atomne mase i atomni brojevi 70

Element	Oznaka	Atomna masa	Atomni broj	Element	Oznaka	Atomna masa	Atomni broj
Aluminij	Al	26,94	13	Litij	Li	6,940	3
Antimon	Sb	121,76	51	Magnezij	Mg	24,32	12
Argon	Ar	39,944	18	Mangan	Mn	54,93	25
Arsen	As	74,91	33	Molibden	Mo	95,95	42
Bakar	Cu	63,57	29	Natrij	Na	22,997	11
Barij	Ba	137,36	56	Neon	Ne	20,183	10
Berilij	Be	9,02	4	Neptunij	Np	237	93
Bizmut	Bi	209,00	83	Nikalj	Ni	58,69	28
Bor	B	10,82	5	Olovo	Pb	207,21	82
Brom	Br	79,916	35	Osmij	Os	190,2	76
Cer	Ce	140,13	58	Platina	Pt	195,23	78
Cink	Zn	65,38	30	Plutonij	Pu	242	94
Cirkonij	Zr	91,22	40	Radij	Ra	226,05	88
Dušik (azot)	N	14,008	7	Rodij	Rh	102,91	45
Fluor	F	19,00	9	Selen	Se	78,96	34
Fosfor	P	30,98	15	Silicij	Si	28,06	14
Germanij	Ge	72,60	32	Srebro	Ag	107,880	47
Helij	He	4,003	2	Stroncij	Sr	87,63	38
Iridij	Ir	193,1	77	Sumpor	S	32,066	16
Jod	J	126,92	53	Tantal	Ta	180,88	73
Kadmij	Cd	112,41	48	Titan	Ti	47,90	22
Kalcij	Ca	40,08	20	Torij	Th	232,12	90
Kalij	K	39,096	19	Ugljik	C	12,010	6
Kisik	O	16,0000	8	Uran	U	238,07	92
Klor	Cl	35,457	17	Vanadij	V	50,95	23
Kobalt	Co	58,94	27	Vodik	H	1,0080	1
Kositar (kalaj)	Sn	118,70	50	Volfram	W	183,92	74
Kripton	Kr	83,7	36	Zlato	Au	197,2	79
Krom	Cr	52,01	24	Željezo	Fe	55,85	26
Ksenon	Xe	131,2	54	Živa	Hg	200,61	80

Ovo su kemijske atomne mase. Jedinica atomne mase = $O_2/32 = 1{,}6602 \cdot 10^{-27}$ kg. Fizikalne atomne mase (jedinica $O^{16}/_{16}$) dobiju se množenjem kemijskih atomnih masa s 1,000 275.

Naziv	Oznaka	Spec. masa pri 20° C	Talište	Vrelište pri 760 mm Hg	Spec. toplina (u području od/do °C)	Toplina taljenja	Toplinska vodljivost (pri °C)
		kg/dm³	°C	°C	kcal/kg°C	kcal/kg	cal/cm s °C
Aluminij mek Aluminij tvrd	Al	2,70	658	2270	0,212 (0/100)	90	0,53 (20)
Antimon	Sb	6,68	630	1640	0,0503(17/100)	38,9	0,0538(0)
Bakar mek Bakar tvrd	Cu	8,90	1083	2330	0,0928(18/100)	50	0,938 (0)
Barij	Ba	3,6	704	1700	0,068 (—185/+20)	850	1140
Berilij	Be	1,82	1285	2970	0,244 (0/100)	341	0,393
Bizmut	Bi	9,80	271	1500	0,0299(18/100)	14,1	0,0244(0)
Cink	Zn	7,14	419	907	0,0946(20/100)	24,1	0,265 (18)
Germanij	Ge	5,35	958	2700	—	—	—
Kadmij	Cd	8,64	321	767	0,0559(20/100)	12,9	0,0233(0)
Kalij	K	0,86	63	760	0,173 (0)	15,7	0,23 (5/20)
Kalcij	Ca	1,55	850	1480	0,149 (0/100)	78	—
Kobalt	Co	8,9	1492	3185	0,105 (0/100)	59	—
Kositar (kalaj)	Sn	7,3	232	2260	0,0548(0/100)	14	0,1528(0)
Krom	Cr	7,1	1890	2500	0,1208(0/100)	32	0,180 (20)
Litij	Li	0,534	186	1372	1,092 (0/100)	32,8	0,167 (0)
Magnezij	Mg	1,74	651	1107	0,249 (0/100)	60	0,376 (0/100)
Mangan	Mn	7,4	1242	2151	0,107 (20/100)	60	0,12 (20)
Molibden	Mo	10,2	2620	4800	0,0647(20/100)	—	0,346 (17)
Natrij	Na	0,97	98	880	0,297 (0/20)	27,5	0,321 (5,7)
Nikal mek Nikal tvrd	Ni	8,9	1452	2900	0,109 (18/100)	74	0,142 (18)
Olovo	Pb	11,34	327	1744	0,0309(18/100)	6	0,083 (18)
Osmij	Os	22,48	2700	5493	0,0311(19/98)	35	—
Platina meka	Pt	21,45	1773	4389	0,0319(20/100)	27	0,1664(18)
Rodij	Rh	12,44	1966	4500	0,0598(10/97)	—	0,210 (17)
Srebro	Ag	10,47	960	2001	0,057 (20/100)	24,3	0,974 (18)
Tantal	Ta	16,6	2850	6093	0,033 (14/100)	—	0,130 (18)
Vanadij	V	6,0	1710	3000	0,1153(0/100)	—	—
Volfram	W	19,3	3380	5927	0,0338(20/100)	60	0,476 (18)
Zlato	Au	19,29	1063	2966	0,031 (20/100)	16	0,707 (17)
Željezo čisto	Fe	7,87	1535	2998	0,111 (0/100)	50	0,161 (18)
Željezo lijevano		7,2	1275		0,031	23	0,10
Željezo-čelik		7,85	1480		0,11	—	0,12
Živa	Hg	13,546	-38,9	357	0,0332(0/20)	2,7	0,025 (0)

Oznaka	Linearni toplinski koeficijent rastezanja (u području od/do °C)	Električna vodljivost pri 20 °C	Specif. elektr. otpor pri 20° C	Temperaturni koeficijent elektr. otpora	Modul elastičnosti	Zatezna čvrstoća	Istezanje kod prekida	Brinellova tvrdoća
	10^{-6}/°C	Sm/mm²	Ωmm²/m	1/°C	kp/mm²	kp/mm²	%	kp/mm²
Al	23,8 (0/100)	37 35,5	0,0270 0,0283	0,00400	6 500	7—10 17—23	40—30 8—2	15—25 35—60
Sb	10,9 (0/100)	2,4	0,415	0,0051	7 900	8,6	1,6	36
Cu	16,5 (0/100)	58 56	0,0172 0,0179	0,0039 0,0038	13 000	21—24 35—45	45—35 8—2	40—65 75—95
Ba	19 (0/100)	—	—	—	—	—	—	—
Be	12,3	14,7	0,066	0,00042	30 000	—	—	—
Bi	13,45(17/100)	0,84	1,19	0,0045	3 300	0,5	—	9
Zn	27,4 (9/96)	16,5	0,0605	0,0042	13 000	15	35	35
Ge	6,0	0,000 011	89000	—	—	—	—	—
Cd	31,59(0/100)	13,2	0,076	0,00424	510	6,4	17	16
K	84 (0/100)	13,3	0,075	0,00573	—	—	—	0,07
Ca	22 (0/100)	22	0,0505	0,0036	—	5	—	—
Co	18,1 (25/350)	10,3	0,097	0,0066	20 800	26	—	—
Sn	26,7 (10/100)	8,7	0,115	0,0042	4 000	2,75	40	5
Cr	8,4 (0/100)	7,6	0,131	—	—	—	—	90
Li	56 (0/178)	11,8	0,085	0,0047	500	18	22	—
Mg	25,7 (20/300)	22,4	0,0446	0,0040	4 100	20	10	25
Mn	22,8 (0/100)	21,7	0,046	—	—	—	—	—
Mo	5,49(25/100)	21	0,048	0,0042	—	—	—	—
Na	72,0 (0/50)	20	0,050	0,0053	—	—	—	0,04
Ni	13,0 (0/100)	11,5 10,5	0,087 0,095	0,006	20 500	40 80	45 2	80 200
Pb	29,5 (20/100)	4,8	0,208	0,0043	1 700	1,4	60	4
Os	5,7 (40)	9,7	0,103	0,0042	—	—	—	—
Pt	8,8 (20)	9,6	0,104	0,004	17 000	20	50	55
Rh	8,9 (6/21)	19,6	0,051	0,0043	3 000	—	—	156
Ag	19,5 (10/100)	61,4	0,0163	0,0041	8 000	14—40	50—20	15—90
Ta	6,5 (0/100)	6,5	0,155	0,0031	1 900	—	—	—
V	—	3,8	0,26	—	—	—	—	—
W	4,5 (0/100)	18,2	0,0548	0,0045	3 700	110	—	—
Au	14,4 (17/100)	43,5	0,023	0,004	8 000	14	50	18,5
Fe	12,3 (0/100)	10,2	0,098	0,0065	21 100	22	50	60
	10	0,5—2	2—0,5	—	10 000	—	—	—
	12	8	0,125	0,0052	20 000	30-150	30—10	—
Hg	18,2 (0/100)	1,044	0,9578	0,0009	—	—	—	—

72a

Specifične i volumne mase raznih krutina
u kg/dm^3 (ili t/m^3 ili g/cm^3)
(Metale vidi u 71, drvo u 72c. Za građevinske materijale vidi t 73.)

Aminoplasti 1,45 — 1,55
asfalt 1,1 — 1,5
astralon 1,35
azbest 2,0 — 2,8
azbestna ljepenka 1,2
bakelit, odljevci 1,6
bakelitni papir 1,3
bitumen 0,9 — 1,2
boksit 2,4 — 2,6
boraks 1,7 — 1,8
bronca 7,5 — 9,2
buna 1,34
celon 1,3
celuloid 1,35
celuloza 1,4 — 1,5
cer (metal) 6,8
cezij 1,87
cigla 1,7 — 1,9
cigla - klinker 1,5 — 2,3
cinkovo bjelilo
  (u prahu) 0,8
crveni lijev 8,56 — 8,9
dinamit 1,4
duraluminij 2.75 — 2.87
ebonit 1,15
eternit 2,0
feldšpat 2,5 — 2,76
glina masna 1,8 — 2,1
glina suha 1,5 — 1,8
grafit 1,8 — 2,3
guma sirova 0,9 — 0,96
guma vulk. 0,92 — 2
gutaperča 0,9 — 1,02
heraklit 0,5
iridij 22,5
izokart 1,3 — 1,4
izotekst 1,3 — 1,4
jantar 1 — 1,1
juvifleks 1,4 — 1,5
juvidur 1,4

kamenina 2,44 — 2,65
kaolin 2,2 — 2,6
karbid 2,22
karborundum 1,5 — 1,9
katran 1,07 — 1,3
kaučuk vulk. 1,25 — 1,75
kaučuk nevulk. 0,9 — 0,96
keresin 0,89
koks u komadima 1,4—1,9
koža kromova 0,8 — 0,85
koža maštena 1,02
koža suha 0,86
koža risova 1,3
kreda 1,8 — 2,6
kriolit 2,95
ksilolit 1,4
kvarc kristaliničan 2,65
kvarc taljen 2,0 — 2,2
lakovi za el. tehniku
  0,84 — 0,98
led 0,88 — 0,92
luvikan 1,2
masti 0,92 — 0,94
mika 2,6 — 3,2
mikanit 1,9 — 2,6
minij 8,6 — 9,1
mjed 8,4 — 8,85
montan-vosak 0,9 — 1,0
mramor 2,5 — 2,8
opeka - vidi cigla
paladij 12,0
pamuk suh 1,48
papir impregniran 1,4
papir suh 0,9
papir tvrd 1,42
parafin (vosak)
  0,87 — 0,91
parolit 1,9
pleksiglas 1,18
pluto 0,2 — 0,35

polivinilklorid 1,35
porculan 2,3 — 2,5
prešpan 1,2 — 1,3
prešpan plemeniti 1,35
renij 20,5
roževina umjetna 1,35
sadra lijevana 0,97
sadra pečena 1,82
salitra čilska 2,26
salmijak 1,5 — 1,6
salonit 1,75
samikanit 1,8 — 2,2
silicij 2,33
silumin 2,65
smirak 4,0
smola 1,1
sol kuhinjska 2,15
staklo prozorsko
  2,5 — 2,65
steatit 2,6 — 2,8
stroncij 2,60
surac 4,7 — 5
svila 1,3
šamotna opeka 1,8 — 2,2
šelak 1,2
šelakov papir 1,35
temperovani lijev
  7,2 — 7,6
tinjac 2,6 — 3,2
titan 4,57
tlačna ljepenka 1,2 — 1,3
tombak 8,6 — 8,8
trolit 1,4 — 1,7
trolitaks 1,39 — 1,42
trolitul 1,05
troska 0,6 — 0,9
tvrda guma 1,2 — 1,7
tvrdi papir 1,4
vapno pečeno 0,85 — 1,0
vinil koža 1,25
vosak 1,25 — 1,4
vulkan-fiber 1,25 — 1,5

72 b

Prostorne težine (mase) raznih materijala

Materijal	kg/m³	Materijal	kg/m³
cement rastresit	1200	ugljen drveni	
cement zbijen	1900	od mekog drveta	150
koks	360—470	od tvrdog drveta	220
snijeg svjež	130—200	ugljen mrki	700—800
snijeg zbijen	do 800	ugljen kameni	720—870
šljaka ugljena	600—900		

72 c

Prosječne volumne mase drveta

Vrst drveta	kg/m³ za sirovo drvo	kg/m³ za prosušeno drvo*	Vrst drveta	kg/m³ za sirovo drvo	kg/m³ za prosušeno drvo*	Vrst drveta	kg/m³ za sirovo drvo	kg/m³ za prosušeno drvo*
ariš		590	čempres		600	kesten	900	550
bagrem	870	770	grab	970	830	lipa	730	530
bor	700	520	hrast	1010	690	orah	910	690
brijest	850	680	jasen	800	690	smreka		470
breza	940	650	javor	970	630	topola	900	450
bukva	1070	720	jela	1000	450	vrba		590

* Oko 15% vlage (relativne).

Prema: Ugrenović, Tehnologija drveta, Zagreb 1950.

Primjedba: Volumna masa je masa jedinice volumena drveta te se nešto razlikuje od specifične mase (gustoće) drveta, pod kojom se razumijeva masa jedinice volumena drvene tvari od koje je izgrađena stijenka stanica.

72 d

Specifične mase raznih tekućina

Tekućina	kg/dm³	Tekućina	kg/dm³
aceton	0,93	natrijeva lužina 20% NaOH	1,25
alkohol	0,79	natrijeva lužina 66% NaOH	1,70
amilni acetat	0,90	octena kiselina 100%	1,06
benzin	0,68—0,77	petrolej	0,80—0,82
benzol	oko 0,875	plinsko ulje lako	0,80
cilindarsko ulje	0,93	plinsko ulje teško	0,87
dušična kiselina sa 70%		ricinusovo ulje	0,96
HNO_3	1,42	soda $NaCO_3$ 5%	1,048
eter	0,72	solna kiselina 20% HCl	1,1
glicerin	1,26	strojno ulje	0,91
katran	1,07—1,3	špirit 90%	0,82
kolomaz	1,01	terpentin	0,86
ksilol	0,87	toluol	0,87
laneno ulje	0,94	transformatorsko ulje	0,87—0,90
mašinsko ulje	0,91	ugljični bisulfid	1,26
mazut laki	0,90	voda čista pri +4° C	1,000
mazut teški	0,95	voda čista pri +25° C	0,997
mineralna ulja	0,89—0,96	voda morska pri +4° C	1,03
nafta	0,76	vretensko ulje	0,90

73

Računske prostorne težine (mase) građevinskih materijala u kg/m³
(Prema Privremenim tehničkim propisima Ministarstva građevina FNRJ br. 11730 od 12. VII 1948., za izradu statičkih proračuna)

Materijal	Prostorna težina	Materijal	Prostorna težina
Zidovi od cigle		**Drvna građa**	
puna cigla (opeka) u vapnenoj žbuci	1600	listari (bukovina, hrastovina i t. d.), suhi i zaštićeni od nevremena	800
puna cigla u produžnoj žbuci	1650	listari vlažni, tek posječeni	1000
puna cigla u cementnoj žbuci	1750	četinari (bor, jela, omorika, smreka), suhi i zaštićeni od nevremena	600
šuplja cigla u vapnenoj žbuci	1350	smolasti bor, suh i zaštićen	700
klinker u cementnoj žbuci	1900	četinari vlažni, tek posječeni	900
šamotna cigla	1900		
Žbuka		**Asfalt**	
vapnena žbuka	1700	lijevani asfalt	1800
produžna cementna žbuka	1900	nabijeni asfalt	2000
cementna žbuka	2100		
sadrena žbuka	1200		
Beton		**Zemlja**	
beton od kamenih agregata (pijesak i šljunak ili tucanik)	2400	gline suhe	1600
armirani beton od kamenih agregata	2500	gline prirodne vlažnosti	1700
beton od talioničke troske	2200	gline vrlo vlažne	2100
beton od obične troske (s najviše ¹/₃ dodatka pijeska)	1600	crnica, humus, prirodne vlažnosti	1700
beton od tucane cigle i sitnog pijeska	1800	obluci izmiješani s pijeskom	1900
zidovi od šupljih betonskih blokova	2200	pijesak i šljunak, prirodne vlažnosti	1800
zidovi od šupljih betonskih blokova o talioničkom troskom	2000	pijesak i šljunak, mokri	2000
zidovi od šupljih betonskih blokova s običnom troskom (s najviše ¹/₃ dodatka pijeska)	1450	tucanik (oštrobridni)	1800
Prirodno kamenje		**Rastresiti građevinski materijali**	
bazalt, diorit, gabro, gnajs	3000	cement (razastrt)	1200
dijabaz, granit, porfir, sijenit	2800	cementni klinker	1200
vapnenac (krečnjak), vrlo čvrst, uključivši školjkasti vapnenac i mramor	2800	sadra obična	1250
vapnenac (krečnjak) srednje tvrdoće i vapnenasti konglomerat	2200	vapno kreč	1000
vapnenac (krečnjak) mek, vrlo porozan	1800	pepeo od koksa	700
pješčanik veće čvrstoće	2600	pepeo od ugljena	900
pješčanik male čvrstoće	2200	troska iz visokih peći, obična	1600
serpentin	2600	troska iz visokih peći veličine zrna 30 — 70 mm	1500
škriljac za pokrivačke radove	2800	troska iz visokih peći smrvljena u pijesak	1100
glinasti škriljac	2600	pjenušava troska iz visokih peći	700
travertin	2400	ugljena troska	800

Specifične topline nekih materijala

74

Naziv	kcal/kg °C	Naziv	kcal/kg °C	Naziv	kcal/kg °C
Alkohol	0,58	krečnjak	0,21	staklo	0,18
amonijak	0,52	kvarc 20 — 100°C	0,186	strojno ulje	0,40
bazalt	0,20	kvarc 20 — 600°C	0,246	sumpor	0,18
benzol	0,42	kvarc 20 — 1000°C	0,263	sumporasta kiselina	0,32
beton	0,21	led	0,46	sumporna kiselina	0,33
cigla	0,22	mramor	0,21	šamot	0,19
drvo (hrast)	0,57	naftalin	0,31	terpentinsko ulje	0,42
drvo (omorika)	0,65	opeka	0,22	troska	0,18
eter etilni	0,55	pepeo	0,20	troska visokih peći	0,18
fosilno brašno	0,21	petrolej	0,50	ugljen drveni	0,20
glicerin	0,58	pješčenjak	0,22	ugljen kameni	0,31
grafit	0,21	pluto	0,49	vapnenac	0,21
granit	0,20	pluto ekspandirano	0,33	vuna	0,40
koks	0,20	silikatno kamenje	0,22		

Toplinska vodljivost nekih materijala

75

važnih u elektrostrojarstvu (srednje vrijednosti)*

Naziv	W/cm°C	Naziv	W/cm°C
Bakar	3,0	tinjac sa međuslojem papira	0,0012
aluminij	2,0	lakirano platno žuto	0,0031
čelični limovi uzduž sloja	0,63	azbest	0,002
čel. limovi okomito na sloj s 10°/₀ papira	0,12	prešpan	0,0017
isto s 8°/₀ papira	0,15	izolacija utora i svitaka impregnirana lakom	0,0010
čel. limovi lakirani okomito na sloj u atmosferi uzduha	0,12	nepomičan uzduh u vrlo tankim slojevima pri 20 — 80° C	0,00025
isto u atmosferi vodika	0,26	vodik u istim uvjetima	0,00175
čisti tinjac	0,0036	ulje	0,0015
mikanitna ljuska, stlačena	0,0012		

* Prema: Alekseev, Konstrukcija električeskih mašin, Gosenergoizdat 1949.

76 Podaci o nekim plinovima i parama

Naziv plina	Kemijska formula	Spec. masa kg/m³ pri 0°C i 1 atm	Relat. molekularna masa m	Vrelište °C	Spec. topl. c_p*) pri 0°C $\frac{kcal}{°C \cdot kg}$	Omjer spec. toplina pri 0°C (c_p/c_v)	Kritični tlak at	Kritična temperatura °C
Acetilen	C_2H_2	1,171	26,04	— 83,6	0,392	1,23	64,7	35,7
amonijak	NH_3	0,771	17,03	— 33,4	0,492	1,32	115,2	132,4
argon	Ar	1,784	39,94	—185,9	0,125	1,67	49,6	—122,4
butan (n)	C_4H_{10}	2,703	58,12	+ 0,5	—	—	37,2	153,2
dušik	N_2	1,251	28,02	—195,8	0,249	1,40	34,6	—147,1
etan	C_2H_6	1,356	30,07	— 88,6	0,398	1,22	50,6	35
etilen	C_2H_4	1,261	28,05	—103,5	0,350	1,24	52,4	9,5
fluor	F_2	1,695	38,00	—188	0,182	—		—101
helij	He	0,179	4,00	—268,9	1,250	1,66	2,3	—267,9
kisik	O_2	1,423	32,00	—183,0	0,218	1,40	51,4	—118,8
klor	Cl_2	3,214	70,91	— 35,0	0,120	1,34	78,5	144
klorovodik	HCl	1,639	36,47	— 87	0,194	1,42	86	51,4
kripton	Kr	3,74	83,7	—153,2		1,68	56,0	— 63,8
metan	CH_4	0,717	16,04	—161,7	0,520	1,30	47,2	— 82,5
neon	Ne	0,900	20,18	—246,1	0,246	1,67	27,8	—228,7
ozon	O_3	2,22	48,00	—112		1,29	95,4	— 5
rasvjetni plin[1])	—	0,55—0,5	—	—	—	—	—	—
sumporni dioksid	SO_2	2,926	64,07	— 10,0	0,151	1,40	80,4	157,3
sumpor-vodik	H_2S	1,520	34,08	— 60,4	0,264	1,30	92	100,4
ugljična kiselina	CO_2	1,977	44,01	— 78,5	0,197	1,31	75	31,0
ugljični monoksid	CO	1,250	28,01	—191,5	0,251	1,40	35,6	—140,2
vodena para	H_2O	(0,804)	18,0	0		1,332	225,1	374
vodik	H_2	0,9899	2,016	—252,8	3,400	1,41	13,2	—239,9
vrak (suh)[2])	—	1,239	29,0	—	0,239	1,40	37	—140,7

Ogrjevne moći vidi u 60/7, 60/8, 111 i 112.

---

*) Specifična toplina pri konstantnom tlaku.

[1]) Rasvjetni plin dobiven iz plinskog (kamenog) ugljena ima otprilike ovaj sastav: 5% CO_2, 2,5% C_nH_n, 0,5% O_2, 10% CO, 22% CH_4, 53% H_2, 7% N_2; gornja ogrjevna moć 4950 kcal/Nm³, spec. masa (gustoća) pri 0° C i 1 atm 0,45 kg/m³. Rasvjetni plin iz naših domaćih ugljena znatno je slabiji i prosječno je ovog sastava (ugljen 90 % Laško, 10% Raša): 12,5% CO_2, 1,5% C_nH_n, 0,5% O_2, 18% CO, 13,5% CH_4, 42% H_2, 12% N_2, gornja ogrjevna moć 3385 kcal/Nm³. Ovaj plin sadrži i dosta sumpora. Rasvjetni plin u Zagrebu dobiva se konvertiranjem iz zemnog plina, a prosječno je ovog sastava: 8% CO_2, 0,5% O_2, 8% CO, 27,5% CH_4, 38% H_2, 18% N_2; gornja ogrjevna moć 4250, donja 3830 kcal/Nm³. Taj plin praktički nema sumpora.

[2]) **Sastav suhog zraka:** a) Volumenski: 78,03% N_2, 20,99% O_2, 0,03% CO_2, 0,94% Ar, 0,01% Ne+Kr+X+He+H_2. b) Težinski: 75,80% N_2, 23,22% O_2, 0,05% CO_2, 0,93 % Ar+Ne+ +Kr+X+He+H_2.

77

Elektrokemijski niz elemenata

E — potencijal elektrode od dotičnog elementa prema elektrodi od vodika (u voltima)

Element		E	Element		E	Element		E
Litij	Li	−3,02	krom	Cr	−0,55	antimon	Sb	+0,1
kalij	K	−2,92	željezo	Fe	−0,44	bizmut	Bi	+0,2
natrij	Na	−2,71	kadmij	Cd	−0,40	arsen	As	+0,3
kalcij	Ca	−2,5	kobalt	Co	−0,29	bakar	Cu	+0,34
magnezij	Mg	−2,34	nikal	Ni	−0,23	živa	Hg	+0,799
aluminij	Al	−1,28	kositar	Sn	−0,14	srebro	Ag	+0,800
mangan	Mn	−1,0	olovo	Pb	−0,13	zlato	Au	+1,36
cink	Zn	−0,76	vodik	H	0	fluor	F	+2,0

Prema: Knowlton, Standard Handbook for Electrical Engineers.

Dva elementa tvore na vlazi galvanski članak, pri čemu se razara onaj koji u gornjem nizu dolazi prije. Npr. pri kontaktu bakar-aluminij razara se aluminij. Za spajanje bakrenih i aluminijskih vodiča treba stoga (osim u suhim prostorijama) upotrijebiti posebne Al-Cu spojnice ili stezaljke gdje se spoj vrši preko bimetalnog uloška od kupala.* Aluminij može, međutim, biti u dodiru s dobro *pocinčanim željeznim materijalom jer se na njegovoj* površini stvori aluminijev oksid koji je po potencijalu blizu cinka. Nepocinčani ili loše pocinčani čelik opasan je za aluminij. Na loše pocinčanom čeliku cink nestaje jer ga razara element željezo-cink. Obratno, na loše pokositrenom, poniklanom ili pobakrenom željezu prevlaka elektrolitski nije ugrožena, ali željezo jako korodira.

78a

Elektrotehnički bakar

Oznaka za elektrotehnički bakar prema JUS C.D1.002:E.CU.

Standardni ižareni bakar prema JUS N.C0.011/1958. odgovara internacionalnom standardnom bakru kako ga je definirala Internacionalna elektrotehnička komisija (IEC)[1]. To je čist bakar ovih karakteristika pri 20⁰ C:

Vodljivost	58 Sm/mm²
Specifični otpor	0,01724 Ωmm²/m
Specifična masa	8890 kg/m³
Temperaturni koeficijent otpora	0,00393 1/step.
Linearni koeficijent rastezanja	$1{,}7 \cdot 10^{-5}$ 1/step.

Vodljivost ovog bakra uzima se za stopostotnu vodljivost[2].

Elektrotehnički bakar ima redovito manju vodljivost od standardnog ižarenog bakra. Pojedine zemlje propisuju različite minimalne vodljivosti. Propise za Njemačku i SAD vidi na strani 170. Naša Fabrika kablova »Moša Pijade«, Svetozarevo, proizvodi vodiče od bezoksidnog bakra izvanredno velike vodljivosti 59 S · m/mm² pri 20⁰ C (specifični otpor 0,01695 om · mm²/m). Spec. masa ovog bakra iznosi 8920 kg/m³, temperaturni koeficijent otpora 0,00418 1/step., koeficijent linearnog rastezanja $1{,}7 \cdot 10^{-5}$ 1/step., sve pri 20⁰ C.

---

* Kupal (cupal) je bimetalni lim gdje su bakar i aluminij pod tlakom zavareni zajedno da na spojno mjesto ne može prodrijeti zrak.

[1] IEC-publikacija broj 28/1925: »Internacionalni standard otpora za bakar«.

[2] Internacionalni standardni bakar definiran je od IEC-a 1913. god. (1. izdanje publikacije br. 28). Današnji elektrolitički posve čisti bakar ima i veću vodljivost od standardnog bakra, dakle preko 100%.

Elektrotehnički bakar (nastavak)

Vodljivosti elektrotehničkog bakra u Sm/mm² pri 20° C

(Za Njemačku minimalne vrijednosti, za SAD nominalne vrijednosti)

Njemačka¹)		SAD²)	
Meke, ižarene žice, nepokositrene	57	Meke, ižarene žice	58
Isto, za izolirane vodiče i kabele	56	Polutvrde vučene žice, promjera 11,7 do 8,25 mm	56,64
Meke, ižarene žice, pokositrene, promjer ≧ 0,3 mm	56,5	Polutvrde, vučene žice, promjera 8,2 do 1,02 mm	56,06
Isto za izolirane vodiče i kabele	55,5	Tvrdo vučene žice, promjera 11,7 do 8,25 mm	56,35
Meke, ižarene žice, pokositrene, promjera 0,1 do 0,3 mm	55,5	Tvrdo vučene žice, promjera 8,2 do 1,02 mm	55,77
Isto za izolirane vodiče i kabele	54,5		
Meke, ižarene žice, pokositrene, promjera <0,1mm	54		
Isto za izolirane vodiče i kabele	53		
Polutvrde i tvrde žice ≧ 1,0 mm ⌀	56		
Polutvrde i tvrde žice < 1,0 mm ⌀	55		

Primjedba: Navedene su vrijednosti preračunate. Originalni američki standard daje vrijednosti u postocima vodljivosti internacionalnog standardnog bakra.

¹) DIN 57201 ili VDE 0201/1934.
²) American Society for Testing Materials (B1–47, B2–47, B3–45).
JUS N. C7.101/1958 (Okrugla bakrena žica vučena na tačnu mjeru) traži minimalnu vodljivost 57, a kao računsku (srednju) vodljivost uzima 58.

78 b Odnos vodljivosti i specifičnog otpora bakra

Vodljivost	58	57,5	57	56,5	56	55,5	55	54,5	54	53,5	Sm/mm²
Spec. otpor	1,724	1,741	1,754	1,770	1,786	1,802	1,818	1,835	1,852	1,868	μΩcm

1,724 μΩcm (mikroom-centimetara) = 0,01724 Ωmm²/m

78 c Temperaturni koeficijent otpora bakra

za različite vodljivosti bakra i različite temperature*

Vodljivost		Temperaturni koeficijent otpora (α) pri temperaturi			
u % vodljivosti internac. stand. bakra	pri 20° C Sm/mm²	0° C	20° C	30° C	50° C
100	58	0,004 27	0,003 93	0,003 78	0,003 52
99	57,42	0,004 22	0,003 89	0,003 74	0,003 48
98	56,84	0,004 17	0,003 85	0,003 71	0,003 45
97	56,26	0,004 13	0,003 81	0,003 67	0,003 42
96	55,68	0,004 04	0,003 77	0,003 64	0,003 39
95	55,10	0,004 03	0,003 73	0,003 60	0,003 36

* Prema Knowlton, Standard Handbook for Electrical Engineers.

Okrugla bakrena žica

meka, tačno vučena za el. strojeve i aparate (prema JUS N.C7.101/1958*)

Nazivni promjer	Tole-rancija	Presjek	Otpor (20°C)	Težina	Nazivni promjer	Tole-rancija	Presjek	Otpor (20°C)	Težina
mm	μ**	mm²	Ω/km	kg/km	mm	μ**	mm²	Ω/km	kg/km
0,05	2	0,00196	6,93	0,018	1,1	16	0,9503	0,0183	8,46
0,06	2	0,00283	6,21	0,025	1,15	16	1,0387	0,0168	9,24
0,07	2	0,00385	4,56	0,034	1,2	16	1,131	0,0155	10,07
0,08	2	0,00503	3,49	0,045	1,25	16	1,2270	0,0143	10,92
0,09	3	0,00636	2,76	0,057	1,3	16	1,327	0,0132	11,81
0,1	3	0,00785	2,23	0,070	1,35	16	1,431	0,0122	12,74
0,11	3	0,00950	1,846	0,085	1,4	16	1,539	0,0114	13,70
0,12	3	0,01131	1,551	0,101	1,45	20	1,651	0,0106	14,70
0,13	4	0,01327	1,322	0,118	1,5	20	1,767	0,0099	15,73
0,14	4	0,01539	1,140	0,137	1,55	20	1,887	0,0093	16,79
0,15	4	0,01767	0,993	0,157	1,6	20	2,011	0,0087	17,90
0,16	5	0,02011	0,873	0,179	1,65	20	2,138	0,0082	19,03
0,18	5	0,02545	0,689	0,226	1,7	20	2,270	0,0077	20,2
0,2	5	0,03142	0,558	0,280	1,75	25	2,405	0,0072	21,4
0,22	5	0,03801	0,462	0,338	1,8	25	2,545	0,0069	22,6
0,25	5	0,04909	0,357	0,437	1,9	25	2,835	0,0062	25,2
0,28	7	0,06158	0,285	0,548	2	25	3,142	0,0056	28,0
0,3	7	0,07069	0,248	0,629	2,1	25	3,464	0,0051	30,8
0,32	7	0,08042	0,218	0,716	2,2	25	3,801	0,0046	33,8
0,35	7	0,09621	0,1824	0,856	2,3	30	4,155	0,0042	37,0
0,38	7	0,1134	0,1547	1,010	2,4	30	4,524	0,0039	40,3
0,4	7	0,1257	0,1396	1,12	2,5	30	4,909	0,0035	43,7
0,42	9	0,1385	0,1266	1,23	2,6	30	5,309	0,0033	47,3
0,45	9	0,1590	0,1103	1,42	2,7	30	5,726	0,00306	51,0
0,48	9	0,1810	0,0970	1,61	2,8	30	6,158	0,0028	54,8
0,5	9	0,1964	0,0893	1,75	2,9	30	6,605	0,00266	58,8
0,55	9	0,2376	0,0738	2,12	3	30	7,069	0,0025	62,9
0,6	9	0,2827	0,0621	2,52	3,1	40	7,548	0,0023	67,2
0,65	9	0,3318	0,0529	2,95	3,2	40	8,042	0,00218	71,6
0,7	9	0,3848	0,0456	3,43	3,3	40	8,553	0,00202	76,1
0,75	12	0,4418	0,0397	3,93	3,4	40	9,079	0,00193	80,8
0,8	12	0,5027	0,0349	4,47	3,5	40	9,621	0,00182	85,6
0,85	12	0,5675	0,0309	5,05	3,6	40	10,179	0,00172	90,6
0,9	12	0,6362	0,0276	5,66	3,8	40	11,341	0,00154	100,9
0,95	12	0,7088	0,0248	6,31	4	40	12,566	0,0014	111,8
1	12	0,7854	0,0223	7,00	5	50	19,64	0,00088	175

Osim žica navedenih u tablici JUS obuhvaća i žice ovih nazivnih promjera: 0,03 — 0,04 — 0,17 — 0,19 — 0,21 — 0,23 — 0,24 — 0,26 — 0,27 — 0,29 — 0,31 — 0,33 — 0,34 — 0,36 — 0,37 — 0,39 — 0,43 — 0,47 — 1,05 — 4,2 — 4,5 — 4,8 — 5,2 — 5,5 — 5,8 — 6 mm.

Presjek, otpor i težina izračunati su na osnovi nazivnog promjera, za vodljivost 58 Sm/mm^2 i specifičnu masu 8,9 kg/dm^3. Gornja i donja granica za otpor mogu se izračunati pomoću tolerancije za promjer i granica za vodljivost 57 i 58,5 Sm/mm^2.

* Zamjena za izdanje iz 1954.
** 1 μ (mikron) = 0,001 mm. Tolerancija je uvijek ±.

80

Elektrotehnički aluminij

Normalni čisti ižareni aluminij ima ove karakteristike pri 20° C*:

Vodljivost	37 Sm/mm²
Specifični otpor	0,027027 Ωmm²/m
Specifična masa	2700 kg/m³
Temperaturni koeficijent otpora	0,00422 1/step.
Linearni koeficijent rastezanja	$2{,}3 \cdot 10^{-5}$ 1/step.

Vodljivost ovog aluminija uzima se za stopostotnu vodljivost.

Međunarodni tehnički uvjeti propisuju pri 20° C:

	Žice**	Šinje***	
Specifični otpor, najviše	0,0280[1])	0,0290[1])	Ωmm²/m
Specifična masa (gustoća)	2703	2703	kg/m³
Temperaturni koeficijent otpora	0,00407	0,00393	1/step.
Linearni koeficijent rastezanja	$2{,}3 \cdot 10^{-5}$	$2{,}3 \cdot 10^{-5}$	1/step.
Prekidna čvrstoća najviše	10	—	kp/mm²

Publikacija IEC-a br. 111/1959 (»Preporuke o specifičnom otporu tvrdo vučene aluminijske žice za električne vodiče«) propisuje samo vrijednost specifičnog otpora 0,028 264 om · mm²/m (mjerna pogreška uključena).

Specifični otpor i vodljivost pri 20° C prema njemačkim i američkim standardima.

Njemački propisi VDE 0202/VII.43 propisuju za meki ižareni aluminij za elektrotehniku najmanju vodljivost 36 Sm/mm², čemu odgovara najveći specifični otpor 0,027 78 Ω mm²/m (2,778 μΩcm). Za žice od tvrdog vučenog aluminija vrijedi norma DIN 48 200 koja propisuje vodljivost barem 34,8 Sm/mm², čemu odgovara najveći specifični otpor od najviše 0,028 74 Ω mm²/m.

U SAD standard ASA-C11 (1927) propisuje za tvrdo vučene aluminijske žice specif. otpor 0,028 28 Ω mm²/m. (Standard daje kao spec. masu 2,703 kg/dm³.)

Čistoća: barem 99,5% Al, ostatak razne primjese (VDE 0202/VII.43, DIN 1712 i američke uzance). Dozvoljene primjese smiju iznositi najviše 0,3% Si, 0,4% Fe, 0,3% Ti+Cr+Mn, 0,02% Cu, 0,09% Cu+Zn.

81

Al-Mg-Si legure za električne vodiče

Aluminijske legure tipa Al-Mg-Si proizvode se i upotrebljavaju u mnogim zemljama za električne vodiče nadzemnih vodova. Kod nas se zasada niti proizvode, niti upotrebljavaju. *Kod nas je najpoznatija od tih legura aldrej koji se* proizvodi u Njemačkoj, Austriji, Švicarskoj i Italiji[2]).

Međunarodni tehnički uvjeti IEC-a[3]) za žice od Al-Mg-Si legura propisuju ove karakteristike:

Specifični otpor najviše 0,0328 Ω mm²/m (vodljivost barem 30,488 Sm/mm²)
Temperaturni koeficijent otpora 0,0036 1/step.
Linearni koeficijent rastezanja $0{,}23 \cdot 10^{-5}$ 1/step.
Prekidna čvrstoća barem 30 kp/mm²

Prekidno istezanje na štapu dugom 200 mm treba da bude barem 4% za žice 1,50 do 4,50 mm promjera.

Sastav aldreja: 0,40 — 0,50% Mg, 0,50 — 0,60% Si, 0,15 — 0,22% Fe, ostatak aluminij čistoće 99,5% s dozvoljenim primjesama, ali sadržaj Cu ne smije iznositi više od 0,02%.

---

* Podaci su uzeti iz prijedloga Sekretarijata Tehničkog odbora 7 IEC-a od marta 1955. Međutim, na zasjedanju IEC-a u Londonu iste godine nije postignuta međunarodna *suglasnost o tom* pitanju. Gornji podaci odgovaraju kanadskoj praksi.

** Publikacija IEC br. 121/1960: »Preporuke za aluminijske žice za električne vodiče«.

*** Publikacija IEC br. 105/1958: »Preporuke za komercijalni čisti materijal za aluminijske šinje«.

[1]) Mjerna pogreška je uključena u ovoj vrijednosti.

[2]) Ostali nazivi sličnih legura jesu: almelec (Francuska, Italija), aludur 513 (Švicarska), elran (Austrija), F 54 (Italija), igo-aluminij (Japan), silmalec (Ujedinjeno Kraljevstvo), telalco (Italija).

[3]) Publikacija IEC broj 104/1958. Karakteristike Al-Mg-Si-šinja vidi u IEC broj 114/1959.

Otporni materijali*

Naziv materijala	Sastav legure	Spec. masa	Najviša radna temperatura	Spec. otpor pri 20°C	Temp. koef. otpora
	%	kg/dm³	°C	Ωmm²/m	$1/°C \cdot 10^{-3}$
Advance	55 Mn, 45 Ni	8,9	500	0,49	± 0,02
Brightray	80 Ni, 20 Cr	8,35	1100	1,03	0,1
Cekas	65 Ni, 20 Fe, 15 Cr	8,3	1100	1,13	0,09
Cekas extra	75 Fe, 20 Cr, 5 Al	7,1	1300	1,4	0,05
Chromel A	80 Ni, 20 Cr	8,3	1100	1,04	0,11
Chromel C	61 Ni, 23 Fe, 16 Cr	8,24	900	1,12	0,26
Cronifer II	63 Ni, 20 Fe, 15 Cr, 2 Mn	8,25	1100	1,12	0,11
Cronifer III	29 Ni, 48, 5Fe, 20Cr, Mn, Si	7,9	1000	1,03	0,35
Cupro	80 Cu, 20 Ni	8,97	350	0,26	0,29
Dullray	34 Ni, 62 Fe, 4 Cr	8,13	550	0,91	1,05
Eureka, ferry	56-60 Cu, 44-40 Ni	8,92	350	0,48	~ 0
Glowray	65 Ni, 20 Fe, 15 Cr	8,27	850	1,06	0,20
Kanthal A	Fe, Cr, Al, Co	7,15	1300	1,39	0,049
Kanthal Al	Fe, Cr, Al, Co	7,1	1350	1,45	0,033
Kanthal DS	Fe, Cr, Al, Co	7,25	1150	1,35	0,065
Konstantan	57 Cu, 43 Ni	8,9	350	0,49	± 0,05
Lucero	30 Cu, 70 Ni	8,90	500	0,48	1,0
Manganin	84 Cu, 12 Mn, 4 Ni, Fe	8,19	300	0,48	± 0,015
Megapyr I	65 Fe, 30 Cr, 5 Al	7,1	1350	1,40	0,016
Megapyr II	76,5 Fe, 20 Cr, 3,5 Al	7,4	1200	1,17	
Monel	30 Cu, 67 Ni, Fe, Mn	8,8	425	0,48	2,0
Nichrom I	65 Ni, 22 Fe, 11 Cr, Mn, Si	8,25	900	1,12	0,17
Nichrom V	80 Ni, 20 Cr	8,4	1100	1,08	0,13
Nikelin	67 Cu, 30 Ni, 3 Mn	8,7	300	0,40	0,22
Nilvar	Fe, Ni	8,08	500	0,8	1,35
Novo srebro	62 Cu, 22 Zn, 15 Ni, Fe, Mn	8,95	400	0,34	0,25
Ohmax	71,5 Fe, 20 Cr, 8,5 Al	6,80	1200	1,67	0,067
Radiohm	83 Fe, 13 Cr, 4 Al	7,30	1000	1,33	0,7
Tophet A	80 Ni, 20 Cr	8,42	1100	1,08	0,1
Željezna žica		7,7	300	0,13	4,4
Željezo lijevano			600	0,70	

* **Primjedba: Sastav legura, izradba i karakteristike stalni su samo kod materijala koji su proizvod jednog proizvođača te im je i naziv zaštićen npr. kanthal A, kanthal Al, kanthal DS). Međutim nazivi kao konstantan, manganin i nikelin obuhvataju zapravo grupe srodnih legura.**

Evo graničnih vrijednosti:

Konstantan: 43-60% Cu, 40-55% Ni, eventualno Fe, Mn, C; ρ=0,48-0,51.
Manganin: 70-86% Cu, 2-12% Ni, 2-25% Mn; ρ=0,42-0,48.
Manganin (sa Zn): 53% Cu, 2,5% Ni, 1,7% Mn, 39% Zn, 2,7% Sn, 0,2% Al.
Nikelin: 54-67% Cu, 22-31% Ni, 0-20% Zn, 2-3% Mn; ρ=0,36-0,44.

82 b

Otporni materijali
prema DIN 46460

Oznaka grupe	Sastav	ρ (Ω mm²/m) pri 20° C računska vrijednost	granice
WM 13	Željezo pokositreno ili pocinčano	0,13	0,12–0,14
WM 30	Cu-legure, eventualno sa Zn, npr. novo srebro	0,30	0,28–0,32
WM 43	Mn, Ni+Cu, npr. manganin	0,43	0,42–0,44
WM 50	Cu sa Ni ili Mn, ali bez Zn i Fe, npr. konstantan	0,50	0,47–0,51
WM 100	Fe+Ni; Cr+Ni; Cr, Ni+Fe	1,0	0,85–1,04
WM 110	Cr+Ni te eventualno s Fe i s drugim metalima	1,1	1,04–1,16
WM 120	Kao za WM 110, ali drugi sastav	1,2	1,14–1,26
WM 140	Cr, Al i Fe	1,4	1,33–1,47

WM 13 — Za pokretače, ali ne za regulaciju (samo za kratkotrajno opterećenje).
WM 30 — Za jake struje, npr. za serijske regulatore.
WM 43 — Za otpornike u mjernim instrumentima i raznim aparatima.
WM 50 — Za razne svrhe, npr. za regulatore, pokretače te kao WM 43.
WM 100 — 140 — Za razne peći i druge elektrotermičke sprave gdje su potrebne visoke temperature.

WM 140 nije obuhvaćen normom DIN 46460.

82 c

Specifični otpori otpornih materijala
pri raznim temperaturama

Naziv materijala	Specifični el. otpor Ωmm²/m pri temperaturi (°C) 20°	200°	400°	600°	800°	1000°	1200°	1300°
Kanthal Al	1,45	1,45	1,46	1,47	1,49	1,50	1,51	1,51
Kanthal A	1,39	1,40	1,41	1,43	1,46	1,47	1,47	1,48
Kanthal DS	1,35	1,36	1,37	1,41	1,43	1,44		
Megapyr I	1,40	1,41	1,42	1,42	1,43	1,43	1,43	1,43
Cekas[1])	1,13	1,16	1,19	1,20	1,21	1,24		
Krom-nikal[2])	1,10	1,14	1,18	1,17	1,16	1,17		
Konstantan	0,50	0,497	0,500					
Manganin	0,43	0,428	0,426					
Lijevano željezo[3])	0,70	0,88	1,11	1,33				

[1]) 65% Ni, 20% Fe, 15% Cr.
[2]) 80% Ni, 20% Cr.
[3]) 3,08% C, 1,79% Si, 0,74% Mn, 0,18% P, 0,047% S, ostatak Fe.

Otpor po metru otporne žice

za razne otporne materijale (u Ω/m pri 20° C)

Promjer mm	WM 13	WM 30	Nikelin	WM 43	WM 50	WM 110	Kanthal DS	Kanthal A	Kanthal Al
0,04			319	342	398	876			
0,05			204	219	255	560	688	708	
0,06			141	152	177	389	478	492	
0,07			104	112	130	286	351	361	
0,08			79,5	85,5	99,5	219	269	277	
0,09			62,9	67,6	78,6	173,0	212	219	
0,10			50,5	54,7	63,7	140,1	171,8	177,0	
0,11			42,0	45,3	52,6	115,7	142,0	146,3	
0,12			35,3	38,0	44,2	97,3	119,3	122,9	
0,13			30,1	32,4	37,6	82,9	101,7	104,7	
0,14			26,0	27,9	32,5	71,5	87,7	90,3	
0,15			22,6	24,3	28,2	62,3	76,4	78,7	
0,20			12,7	13,6	15,9	35,0	43,0	44,3	
0,25			8,13	8,76	10,2	22,4	27,5	28,3	
0,30			5,65	6,08	7,07	15,55	19,10	19,66	
0,35			4,15	4,47	5,20	11,43	14,03	14,45	
0,40			3,18	3,42	3,98	8,76	10,74	11,06	
0,45			2,52	2,70	3,14	6,92	8,49	8,74	
0,50	0,66		2,04	2,19	2,55	5,60	6,88	7,08	
0,55	0,55		1,68	1,81	2,10	4,63	5,67	5,84	
0,60	0,46		1,41	1,52	1,77	3,89	4,78	4,92	
0,65	0,39		1,22	1,30	1,51	3,31	4,07	4,19	
0,70	0,34		1,04	1,12	1,30	2,86	3,51	3,61	
0,75	0,29		0,91	0,98	1,13	2,49	3,06	3,15	
0,80	0,26		0,80	0,86	0,99	2,19	2,69	2,77	
0,85	0,23		0,70	0,76	0,88	1,94	2,38	2,45	
0,90	0,20		0,63	0,68	0,79	1,73	2,12	2,19	
0,95	0,18		0,56	0,61	0,70	1,55	1,91	1,961	
1,00	0,165		0,51	0,55	0,64	1,40	1,72	1,770	1,846
1,1	0,137	0,316	0,420	0,453	0,526	1,157	1,421	1,463	1,526
1,2	0,115	0,265	0,353	0,380	0,442	0,972	1,193	1,229	1,282
1,4	0,0844	0,195	0,260	0,279	0,325	0,715	0,877	0,903	0,942
1,6	0,0646	0,149	0,199	0,214	0,249	0,547	0,671	0,691	0,721
1,8	0,0511	0,118	0,157	0,169	0,196	0,432	0,531	0,546	0,570
2,0	0,0414	0,0954	0,127	0,137	0,159	0,350	0,430	0,443	0,462
2,2	0,0342	0,0789	0,105	0,113	0,132	0,289	0,355	0,366	0,381
2,5	0,0265	0,0612	0,0814	0,0876	0,102	0,224	0,275	0,283	0,295
2,8	0,0211	0,0486	0,0648	0,0698	0,0812	0,178	0,219	0,226	0,236
3,0	0,0184	0,0426	0,0563	0,0608	0,0707	0,155	0,191	0,197	0,205
3,5	0,0135	0,0312	0,0415	0,0447	0,0520	0,114	0,140	0,145	0,151
4,0	0,0105	0,0239	0,0318	0,0342	0,0398	0,0876	0,107	0,111	0,115
5,0				0,0219	0,0255	0,0560			

Pri temperaturi iznad 20° C treba vrijednosti za kanthal pomnožiti s ovim faktorima:

Temper. °C	20	200	400	600	800	900	1000	1100	1200	1300	1350
Kanthal A	1,000	1,002	1,017	1,036	1,049	1,053	1,056	1,058	1,060	1,062	
Kanthal Al	1,000	1,001	1,005	1,017	1,028	1,032	1,036	1,038	1,040	1,042	1,043
Kanthal DS	1,000	1,007	1,019	1,045	1,061	1,066	1,068	1,072	1,075	[illegible]	

84

Najveće dozvoljeno opterećenje površine kanthala
u vatima po cm² površine žice odnosno trake

a) Za industrijske peći

Legura	Temperatura u °C							
	600	700	800	900	1000	1100	1200	1300
Kanthal Al					4,0	3,0	2,0	1,5
Kanthal A				2,9	2,3	1,6	1,2	
Kanthal DS	3,9	3,5	3,0	2,4	1,5	1,0		

b) Za kućanske i industrijske aparate

Kanthal DS 4 — 6 W/cm²
Kanthal A 6 — 8 W/cm²

85

Izračunavanje mjera otporne žice za neku spravu

a) Promjer d okrugle žice

$$d = \frac{1}{2{,}91}\sqrt[3]{\left(\frac{P_e}{U}\right)^2 \cdot \frac{\rho}{p}} \quad \text{mm} \tag{1}$$

P_e — priključna vrijednost otpornog elementa u W
U — napon u V
ρ — spec. otpor otpornog materijala pri radnoj temperaturi (grubo se može računati s temperaturom od 1000° C za industrijske peći, a sa 600—800° C za kućanske i druge aparate; vidi tablicu 82c odn. tablicu 82a; ako se ρ uzme iz tablice 82a, treba ρ_t pri povišenoj temperaturi izračunati pomoću formule 1.3 u 34).
p — dozvoljeno opterećenje površine u W/cm² (za kanthal vidi 84)

b) Stranice a i b trake

$$a = C_a\sqrt[3]{\left(\frac{P_e}{U}\right)^2 \cdot \frac{\rho}{p}} \quad \text{mm} \qquad b = C_b\sqrt[3]{\left(\frac{P_e}{U}\right)^2 \cdot \frac{\rho}{p}} \quad \text{mm} \tag{2}$$

Konstante C_a i C_b ovise o omjeru stranica trake. Za pojedine omjere one iznose:

a/b =	5	8	10	12	15
C_a =	0,119	0,0885	0,077	0,0685	0,0593
C_b =	0,593	0,708	0,77	0,82	0,889

c) Duljina žice odnosno trake

$$l = \frac{U^2}{P_e} \cdot \frac{S}{\rho} \quad \text{metara} \qquad U, P_e, \rho \text{ — kao pod a)}$$

$$S = \frac{d^2\pi}{4} \quad \text{odnosno} = ab \qquad S \text{ — presjek žice odn. trake u mm}^2 \tag{3}$$

86

Preporučljive mjere žice od kanthala i kromnikla za sobne grijalice i kućanske sprave

Potrebna priključna vrijednost	Struja pri 220 V	Promjer žice za 220 V	Duljina žice za 220 V	Težina žice za 220 V	Potrebna priključna vrijednost	Struja pri 220 V	Promjer žice za 220 V	Duljina žice za 220 V	Težina žice za 220 V
W	A	mm	m	gram	W	A	mm	m	gram
a) Kanthal DS, spec. otpor $\rho = 1{,}43\ \Omega mm^2/m$ pri cca 800°C, opterećenje površine $p \approx 5\ W/cm^2$, spec. masa = 7,25 kg/dm³, napon 220 V									
100	0,45	0,14	5,21	0,58	1800	8,2	0,95	13,3	68
300	1,37	0,3	7,08	3,6	2000	9,1	1,0	13,3	76
500	2,27	0,4	8,50	7,7	2500	11,4	1,2	15,3	125
600	2,73	0,45	8,95	10,3	3000	13,6	1,3	15,0	144
700	3,18	0,5	9,50	13,5	3500	15,9	1,5	17,1	219
800	3,64	0,55	10,0	17,3	4000	18,2	1,6	17,0	247
900	4,09	0,6	10,6	21,7	4500	20,5	1,7	17,1	281
1000	4,45	0,65	11,2	27,0	5000	22,7	1,8	17,2	317
1200	5,5	0,7	10,8	30,2	5500	25,0	2,0	19,3	440
1500	6,8	0,8	11,3	41,2	6000	27,3	2,1	19,5	465
b) Kromnikal, spec. otpor $\rho = 1{,}16\ \Omega mm^2/m$ pri cca 800 °C, opterećenje površine $p \approx 5\ W/cm^2$, spec. masa 8,4 kg/dm³, napon 220 V									
100	0,45	0,13	5,53	0,61	1800	8,2	0,85	13,2	63
300	1,37	0,25	6,83	2,81	2000	9,1	0,9	13,3	71
500	2,27	0,35	8,02	6,5	2500	11,4	1,1	15,9	127
600	2,73	0,4	8,75	9,2	3000	13,6	1,2	15,7	149
700	3,18	0,45	9,5	12,7	3500	15,9	1,3	15,8	176
800	3,64	0,5	10,2	16,8	4000	18,2	1,5	18,4	272
900	4,09	0,55	11,0	21,9	4500	20,5	1,6	18,6	314
1000	4,45	0,6	11,8	28,0	5000	22,7	1,7	18,9	360
1200	5,5	0,65	11,5	31,9	5500	25,0	1,8	19,3	413
1500	6,8	0,75	12,3	45,7	6000	27,3	1,9	19,7	470

Primjedbe: 1. Gornja je tablica izračunata po formulama na prethodnoj strani.

2. Ako se za neku priključnu vrijednost otpornog elementa uzme tanja žica od one koja je za tu priključnu vrijednost navedena u gornjoj tablici, treba provjeriti da li opterećenje površine ne prelazi dozvoljene granice po formuli

$$p = \frac{1}{24{,}6}\left(\frac{P_e}{U}\right)^2 \cdot \frac{\rho}{d^3}$$

p samo sasvim izuzetno smije prijeći 6.

3. Kadšto je povoljnije da se otporni elementi priključe na linijski napon 380 V. Mjere žice odredi tada prema formulama na prethodnoj strani.

4. Gornja tablica *ne* vrijedi za industrijske peći čije je opterećenje površine znatno manje.

87 Opteretivost otpornih žica WM 13 i WM 50

Pretpostavke: 1. Okrugle žice smještene su na porculanskom valjku promjera 35 mm u perforiranom kućištu.

2. Temperatura žice WM 13 (čelična pocinčana žica) u kratkotrajnom pogonu 120° C (pokretači).

3. Temperatura žice WM 50 250° C u trajnom pogonu.

Promjer žice mm	Otpor žice WM13 Ω/m	Opteretivost u A žice WM 13 za broj zavoja valjka					Otpor žice WM13 Ω/m	Opteretivost u A žice WM 50 za broj zavoja valjka				
		83	60	41	30	24		83	60	41	30	24
0,25							10,20	1,10				
0,28							8,12	1,22				
0,30							7,07	1,31				
0,35							5,20	1,54				
0,40							3,98	1,75				
0,45							3,14	1,97				
0,50	0,956	2,54					2,55	2,18	2,60			
0,55	0,730	2,90					2,10		2,86			
0,60	0,670	3,10					1,17		3,11			
0,65	0,570	3,28	3,88				1,51		3,35			
0,70	0,488	3,54	4,20				1,30		3,62	4,48		
0,80	0,373	4,03	4,77				0,995		4,10	5,10		
0,90	0,294	4,53	5,36	6,67			0,786			5,70		
1,00	0,238		5,92	7,37			0,637			6,36	7,63	
1,10	0,198		6,48	8,07			0,526			6,96	8,40	
1,20	0,166		7,07	8,78	10,55	12,16	0,442				9,10	10,5
1,40	0,122		8,18	10,20	12,31	14,07	0,325					12,2
1,60	0,094			11,57	13,94	15,96	0,249					13,8
1,80	0,073			13,05	15,72	17,90	0,196					15,4
2,0	0,059			14,53	17,48	19,88	0,159					17,1
2,2	0,049					21,60	0,132					18,6
2,5							0,102					21,0

Težinu željezne pocinčane žice (WM 13) vidi u 104a, a težina žice WM 50 praktički je jednaka težini bakrene žice (vidi 79).

88 Otporni materijali od nemetala (karborundni štapovi)

Maksimalna radna temperatura 1400 (izuzetno 1450)° C

Naziv materijala	Zemlja proizvodnje	Žarni dio štapa [mm] promjer	Žarni dio štapa [mm] duljina	Snaga kW
Silit	Njemačka	4 — 18	70 — 1000	0,12 — 18,5
Kvarcilit	Švicarska	7 — 32	125 — 2000	0,07 — 6,27
Silikarbon	Švicarska	8 — 18	100 — 600	0,13 — 2,19
Savoie	Francuska	6 — 18	60 — 800	0,05 — 2,15
Globar	SAD	8 — 60	120 — 1000	0,35 — 60

Spec. otpor vježih karborundnih štapova varira između 450 i 6000 μΩm pri 1400° C, odn. između 600 i 900 μΩm pri 20° C. Otpor jako raste kod duljeg pogona »(starenje«), na šesterostruku vrijednost nakon 4000 do 15 000 sati pogona.

Pobliže podatke vidi u knjizi Dobeic, Elektrotehnički materijali.

Vrsti tehničkog željeza

Željezo (gvožđe) dijeli se na kemijski čisto željezo i tehničko željezo. Tehničko željezo je smjesa ili legura željeza sa drugim elementima. Prema tome željezom se naziva kemijski element Fe i tehnički metali koji se osnivaju na tom elementu.

Sirovo željezo

To je produkt visokih peći, a služi za proizvodnju čelika i sivog liva (lijevanog željeza). Razlikujemo uglavnom:

a) Sivo sirovo željezo čiji je prelom siv zbog raspadnutog željeznog karbida. Upotrebljava se uglavnom za proizvodnju sivog liva.

b) Bijelo sirovo željezo sa srebrnasto bijelim prelomom. U njemu je ugljik kemijski vezan na željezo kao željezni karbid. Upotrebljava se za proizvodnju čelika:

Sivi liv (zastarjeli naziv: lijevano željezo*)

To je tehničko željezo sa sivim prelomom sa više od 1,7% ugljika (C), obično 2,5 do 4%. Dobiva se iz kupolnih peći pretapanjem starog željeza ili sivog sirovog željeza.

Dijeli se na standardne sive livove čija su svojstva utvrđena u JUS C.J2.020 i kvalitetne sive livove koji imaju veću čvrstoću ili posebna svojstva, a to se postiže legiranjem ili termičkom obradom.

Primjese standardnih sivih livova jesu: 2,5 do 4% C, do 3,8% Si, 0,6 do 1,5% Mn, 0,1 do 1,0% P, do 0,12% S.

Tvrdi liv (bijeli liv)

To je tehničko željezo sa bijelim prelomom sa više od 1,7% ugljika. Taj liv je tvrd i krhak pa mu je upotreba ograničena na posebne namjene (drobilice, mlinovi, hidraulički batovi i sl.). Podvrst je liv sa tvrdom korom (tvrdokorni liv) kod kojega je bijeli prelom (tvrdi dio) samo na površini.

Temprovani liv

Temprovani liv se dobiva od bijelog liva posebnim termičkim postupkom, temprovanjem, kojim se iz liva izlučuje ugljik pa dotada tvrd i krhak liv postaje žilav i obradiv. Razlikujemo:

a) crni ili američki temprovani liv (sa crnim prelomom) koji se dobiva žarenjem u neutralnoj atmosferi tako da se ugljik izlučuje u obliku grafita;

b) bijeli ili evropski temprovani liv (sa svijetlim prelomom) koji se dobiva žarenjem u oksidnoj atmosferi pa ugljik iz liva izgara.

Vrsti i svojstva temprovanog liva utvrđene su u JUS C.J2.021.
Umjesto naziva temprovani liv (ili temprovano željezo) predlaže se i naziv kovkasti liv.

Čelik

To je tehničko željezo sa manje od 1,7% ugljika. Dobiva se iz konvertera sa kiselom oblogom (Bessemerov čelik) ili sa bazičnom oblogom (Thomasov čelik), nadalje iz Siemens-Martinovih peći (SM čelik) te elektropeći (elektročelik).

Sirovi čelik se oblikuje a) valjanjem u vrućem i hladnom stanju (valjani čelik), b) kovanjem i prešanjem pod čekićima i prešama, c) lijevanjem u određene oblike (čelični liv).

Po sastavu čelik se dijeli na a) ugljične ili nelegirane čelike (0,05 do 1% C, do 0,35% Si, 0,3 do 0,8% Mn, do 0,1% P, do 0,06% S) te legirane čelike (koji osim navedenih primjesa sadrže još jedan ili više od ovih elemenata: Cr, Ni, Mo, V, Al, W).

---

* Lijevano željezo je danas naziv za sva tehnička željeza čiji je sadržaj ugljika veći od 1,7% (sivi liv, tvrdi liv, melirani liv, temprovani liv).

90 Označivanje vrsti čelika prema JUS

JUS C.B0.002/1955

1. Primjer oznake čelika prema JUS:

Č. 1234.5 (ugljični čelik sa 0,2% C, za poboljšanje, hladno deformiran).

Oznaka se sastoji od 3 dijela: Prvi dio je slovni simbol koji označava materijal čelik. Drugi dio (1234) sastoji se od četiri brojčana simbola koji predstavljaju osnovnu oznaku čelika. Treći dio (5) sastoji se od jednog ili dva brojčana simbola koji predstavljaju dopunsku oznaku čelika.

2. Osnovna oznaka čelika

a) Čelici sa negarantiranim sastavom

Prva brojka je 0 i znači da sastav čelika nije garantiran. Druga brojka označuje zateznu čvrstoću čelika (na vlak), i to prema ovom pregledu:

Brojka 2.	0	1	2	3	4	5	6	7	
znači	[1])	do 33	34—36	37—39	40—49	50—59	60—69	70 i više	kp/mm^2

Treća i četvrta brojka zajedno predstavljaju redni broj čelika, i to: 0 do 44 — ugljični čelici negarantirane čistoće i čelici trgovačke kvalitete; 45 do 89 — ugljični čelici sa garantiranom čistoćom i (ili) za izvjesne svrhe sa garantiranim sadržajem izvjesnih pojedinih elemenata; 90 do 99 ugljični čelici za automate.

b) Čelici sa garantiranim sastavom

Prva brojka pokazuje koji je najutjecajniji legirajući element u čeliku, i to prema ovom pregledu:

Prva brojka u oznaci	1	2	3	4	5	6	7	8	9
znači da je najutjecajniji legirajući element	C	Si	Mn	Cr	Ni	W	Mo	V	ostali

Najutjecajnijim legirajućim elementom smatra se onaj čiji srednji procentualni sadržaj u čeliku pomnožen sa faktorom vrijednosti *k* daje najveći broj. Faktor *k* za pojedine legirajuće elemente jest:

Element	Si	Mn	Cr	Ni	W	Mo	V	Co	Ti	Cu	Al	ostali
Faktor *k*	1	1	4	4	7	14	17	20	30	1	1	30

Ako za dva legirajuća elementa (kod višestruko legiranih čelika) gornji umnožak (procentualni sadržaj x faktor vrijednosti) daje jednaki broj, najutjecajnijim elementom smatra se onaj koji ima veći faktor vrijednosti. Čelici kojima je najutjecajniji element ugljik (prva brojka 1) zovu se ugljični čelici, a svi ostali zovu se legirani čelici. Oni su nisko legirani ako im je zbroj postotaka legirajućih elemenata jednak ili manji od 5%, a visoko legirani ako je taj zbroj veći od 5%.

[1]) Brojka 0 znači da čvrstoća čelika nije propisana.

Druga brojka označuje:

— Kod ugljičnih čelika sa propisanim sastavom najveći postotak ugljika zaokružen na desetine i pomnožen sa 10. Na primjer, ako je najveći postotak ugljika 0,38, zaokruženo na desetine to daje 0,4, a pomnoženo sa 10 daje 4. Ako čelik sadrži više od 0,9% C (npr. 1,1%), druga brojka je 9.

— Kod legiranih čelika drugi po redu najutjecajniji element označen brojkom prema gore navedenom pregledu, a određen na jednak način kao i najutjecajniji element. Ako je čelik jednostruko legiran, druga brojka je uvijek 1.

Treća i četvrta brojka označuju redni broj čelika, i to:

0 do 19: ugljični čelici s propisanim sastavom te legirani čelici nenamijenjeni toplinskoj obradbi,
20 do 29: ugljični i legirani čelici za cementiranje,
30 do 39: ugljični i legirani čelici za poboljšanje,
40 do 49: ugljični i niskolegirani alatni čelici,
50 do 59: visokolegirani alatni čelici,
60 do 69: čelici s naročitim fizičkim svojstvima,
70 do 79: kemijski postojani i vatrootporni čelici,
80 do 89: —
90 do 99: ostali čelici.

3. Dopunska oznaka

Ova oznaka sadrži jednu ili dvije brojke koje označuju stanje čelika, i to:

0 — bez određene toplinske obradbe
1 — žareno
2 — žareno na najbolju obradivost
3 — normalizirano
4 — poboljšano
5 — hladno deformirano
9 — podešeno po naročitim uputama

Oznaka sa dvije brojke nastaje kombinacijom gornjih brojaka. Npr. vučeno i žareno označuje se sa 51.

Dopunska oznaka odnosi se i stavlja isključivo na poluproizvode (valjani i vučeni čelik). Ona se ne odnosi na gotove ugrađene dijelove pa je ne treba upotrebljavati kao oznaku materijala na crtežima.

Pregled sistema označivanja čelika (osnovna oznaka)

	Čelici s negarantir. sastavom	Čelici s garantiranim sastavom	
	Ugljični čelici	Ugljični čelici	Legirani čelici
Prva brojka	0	1	Brojke 2 do 9 označuju najutjecajniji legirajući element
Druga brojka	Brojke 0 do 7 označuju nazivnu zateznu čvrstoću	Brojke 1 do 9 označuju 10 × najveći postotni sadržaj ugljika zaokružen na desetine (brojka 9 označuje 0,9% C i više)	Brojke 1 do 9 označuju drugi najutjecajniji legirajući element (brojka 1 označuje jednostruko legirane čelike)
3. i 4. brojka	0 do 99 redni broj čelika	0 do 99 redni broj čelika	

91 Ugljični konstrukcioni čelici — obični

1. Čelici prema JUS C.B0.500

Oznaka prema JUS	Zatezna čvrstoća kp/mm²	Izduženje barem		Ispitivanje savijanjem			Upotreba
		δ_5 %	δ_{10} %	$\alpha°$	D	K	
Č. 0000 Č. 0010	do 50			90	$4a$ $2a$	20 33	Za podređene svrhe jer se ni ne traže ni ne garantiraju mehanička svojstva; npr. šipke za rešetke, ograde i slično.
Č. 0210 Č. 0245	34 do 42	30	25	180	$0{,}5a$	66	Za dijelove od kojih se traži velika žilavost, npr. vijci, zakovice, poluge, ručke i drugo.
Č. 0300 Č. 0345	37 do 45	25	20	180	a	50	Uglavnom za sirove dijelove koji se ne obrađuju, ali gdje su potrebna određena meh. svojstva
Č. 0400 Č. 0445	42 do 50	25	20	180	$2a$	33	Za dijelove izložene promjenljivim optereéenjima, npr. osovine, vretena, zupčanici, zagonske motke, ručice i sl.
Č. 0545	50 do 60	22	18				Za jače opterećene strojne dijelove koji već i zbog habanja zahtjevaju tvrđi materijal, npr. vretena, osovine, svornjaci, lokomotivske poluge, vagonske osovine, automobilski dijelovi, razni alati, kliješta, motike i sl.
Č. 0645	60 do 70	17	14				Za jako napregnute dijelove npr. zupčanici, pužnjaci, dijelovi s velikim površinskim pritiskom. Ne preporučuje se za jača naizmjenična opterećenja.
Č. 0745	70 do 85	12	10				Za dijelove velike prirodne tvrdoće, npr. valjci, nakovnji, alati. Ne smije se upotrebljavati za naizmjenična opterećenja.

Primjedbe uz gornju tablicu:

1. Navedeni čelici upotrebljavaju se uglavnom u strojogradnji na takvim mjestima gdje se ne postavljaju veći zahtjevi i gdje nije potrebna cementacija ili poboljšanje.

2. Za navedene čelike ne garantira se granica razvlačenja. Čelici sa garantiranom granicom razvlačenja obuhvaćeni su u JUS C.BO.501 (vidi 92, str. 183). 183).

3. Oznaci čelika kojemu se garantira varivost dodaje se slovo V. JUS sadrži Č.0245V, Č.0345V i Č.0445V.

4. Čelicima Č.0000, Č.0010, Č.0210, Č.0300, Č.0400 ne garantira se sadržaj fosfora i sumpora. Čelicima Č.0245, Č.0345, Č.0445, Č.0545, Č.0645 i Č.0745 garantira se sadržaj fosfora i sumpora: P do 0,06%, S do 0,06%, P + S do 0,10%. Čelicima sa garantiranom varivošću Č.0245V, Č.0345V i Č.0445V garantira se niži sadržaj fosfora i sumpora: P do 0,05%, S do 0,05%, P + S do 0,09%.

5. Oznake za izduženje vidi u 57, str. 143.

6. Oznake za ispitivanje savijanjem jesu: α — kut savijanja, **D** — promjer tlačnog valjka, $K = a/p$, a — debljina epruvete, p — promjer krivine (vidi JUS C.A4.005).

2. Usporedba čelika prema JUS sa čelicima prema drugim standardima

SFRJ	Njemačka		Italija	Francuska	Engleska	SAD	SSSR
JUS	DIN 1611[1]	Din 17100[2]	UNI	AFNOR	BS	ASTM	GOST
Č.0010	St 00.11	St 33	Aq00		(En2)	A107-42	St 0
Č.0245	St 34.11	St 34	Aq34	C10—C	~ En32A	A31-40/A	St 2
Č.0300	St 37.11	St 37	Aq37	C11—C	~ En3A	A141-35	St 3
Č.0445	St 42.11	St 42	Aq42	C20—C	~ En4	A7-42T	St 4
Č.0545	St 50.11	St 50	Aq50	C35—C	~ En6	A-207-47	St 5
Č.0645	St 60.11	St 60	Aq60	C45—C	~ En8	A94-49T	St 6
Č.0745	St 70.11	St 70	Aq70	C60—C	(En9)	(AIS I 1060)	St 7

Značenje kratica standarda (DIN, UNI itd.) vidi u 416.

Čelici za noseće konstrukcije

92

prema JUS C.B0.501

Oznaka JUS brojčana	Oznaka JUS tehnička	Granica razvlačenja barem kp/mm²	Zatezna čvrstoća kp/mm²	Izduženje δ_5 % uzdužno barem	Izduženje δ_5 % poprečno barem	Savijanje za 180°	Žilavost 3,5 mkp pri	Ispitivanje varivosti
Č. 0360	ČN 20-A	20	37 do 45	25	22	$D = a$	—	ne
Č. 0361	ČN 20-B					$D = a$	+20°	da
Č. 0362	ČN 20-C					$D = 2a$	0°	da
Č. 0363	ČN 20-D					$D = 2a$	—20°	da
Č. 0460	ČN 25-A	25	42 do 50	25	22	$D = a$	—	ne
Č. 0461	ČN 25-B					$D = a$	+20°	da
Č. 0462	ČN 25-C					$D = 2a$	0°	da
Č. 0463	ČN 25-D					$D = 2a$	—20°	da
Č. 0465	ČN 30-A	30	44 do 52	24	21	$D = a$	—	ne
Č. 0466	ČN 30-B					$D = a$	+20°	da
Č. 0467	ČN 30-C					$D = 2a$	0°	da
Č. 0468	ČN 30-D					$D = 2a$	—20°	da
Č. 0560	ČN 35-A	35	50 do 64	22	20	$D = 2a$	—	ne
Č. 0561	ČN 35-B					$D = 2a$	+20°	da
Č. 0562	ČN 35-C					$D = 3a$	0°	da
Č. 0563	ČN 35-D					$D = 3a$	—20°	da

JUS dijeli čelike za noseće konstrukcije na 4 osnovne grupe prema granici razvlačenja 20, 25, 30 i 35 kp/mm². Svaka od te 4 grupe podijeljena je na 4 podgrupe A, B, C i D. Čelicima A garantira se samo granica razvlačenja, dok se čelicima B, C i D garantira još i žilavost.

Čelici A upotrebljavaju se za zakovane konstrukcije i za stlačene dijelove zavarenih konstrukcija. Čelici B upotrebljavaju se kao normalne vrsti čelika za zategnute dijelove zavarenih konstrukcija. Čelici C i D upotrebljavaju se za dijelove konstrukcija gdje postoji u većoj mjeri opasnost krtog loma (veći utjecaj unutarnjih napona zavarivanja, veće opterećenje i niža temperatura, utjecaj hladne deformacije i udarnih opterećenja, veći utjecaj zareza itd.).

Oznaka u tablici: δ_5 — izduženje takozvane kratke epruvete čija je duljina 5 puta veća od promjera; D — promjer tlačnog valjka; a — debljina epruvete (vidi JUS C.A4.005).

[1] Stara norma. — [2] Nova norma.

93

Čelici za cementaciju

prema JUS C.B9.020

a) Vrsti

Oznaka JUS	Oznaka DIN	Vrst čelika
Č. 1120 Č. 1220	C 10 C 15	Kvalitetni ugljični čelici
Č. 1121 Č. 1221	CK 10 CK 15	Plemeniti ugljični čelici
Č. 4120	15 Cr 3	Kromov čelik (naročito otporan na habanje)
Č. 4320 Č. 4321	16 Mn Cr 5 20 Mn Cr 5	Krom-manganski čelici (povećana čvrstoća i granica razvlačenja uz bolju kaljivost)
Č. 4720 Č. 4721	EC Mo 80 EC Mo 100	Krom-molibdenski čelici (za udarno opterećenje i gdje i cementiran sloj mora imati određenu žilavost)
Č. 5420 Č. 5421	15 Cr Ni 6 18 Cr Ni 8	Krom-nikalni čelici (za najviše kvalitetne zahtjeve, za naizmjenično i udarno opterećenje, otporni na habanje)

b) Sastav u %

Oznaka JUS	C	Si	Mn	Cr	Drugi elementi	P maks	S maks
Č. 1120	0,06 — 0,12	0,15 — 0,35	0,25 — 0,50			0,045	0,045
Č. 1220	0,12 — 0,18	0,15 — 0,35	0,25 — 0,50			0,045	0,045
Č. 1121	0,06 — 0,12	0,15 — 0,35	0,25 — 0,50			0,035	0,035
Č. 1221	0,12 — 0,18	0,15 — 0,35	0,25 — 0,50			0,035	0,035
Č. 4120	0,12 — 0,18	0,15 — 0,35	0,40 — 0,60	0,50 — 0,80		0,035	0,035
Č. 4320	0,14 — 0,19	0,15 — 0,35	1,0 — 1,3	0,80 — 1,1		0,035	0,035
Č. 4321	0,17 — 0,22	0,15 — 0,35	1,1 — 1,4	1,0 — 1,3		0,035	0,035
Č. 4720	0,13 — 0,17	0,15 — 0,35	0,80 — 1,1	1,0 — 1,3	0,20 — 0,30 Mo	0,035	0,035
Č. 4721	0,18 — 0,23	0,15 — 0,35	0,90 — 1,2	1,1 — 1,4	0,20 — 0,30 Mo	0,035	0,035
Č. 5420	0,12 — 0,17	0,15 — 0,35	0,40 — 0,60	1,4 — 1,7	1,4 — 1,7 Ni	0,035	0,035
Č. 5421	0,15 — 0,20	0,15 — 0,35	0,40 — 0,60	1,8 — 2,1	1,8 — 2,1 Ni	0,035	0,035

c) Mehanička svojstva

Oznaka JUS	Ižareno stanje	Slijepo kaljeno stanje		
	Tvrdoća HB najviše kp/mm²	Granica razvlačenja barem kp/mm²	Zatezna čvrstoća kp/mm²	Izduženje δ_5 barem %
Č. 1120	131	25	42 — 52	19
Č. 1220	131	30	50 — 65	16
Č. 1121	140	25	42 — 52	19
Č. 1221	140	30	50 — 65	16
Č. 4120	187	40	60 — 85	13
Č. 4320	207	60	80 — 110	10
Č. 4321	207	70	100 — 130	8
Č. 4720	217	60	85 — 110	10
Č. 4721	217	75	110 — 145	7
Č. 5420	217	65	90 — 120	9
Č. 5421	235	80	120 — 145	7

Primjedbe: 1. Cementacija je zasićivanje vanjskih slojeva čelika ugljikom pomoću sredstava koja izlučuju ugljik. Nakon cementacije čelik se kali čime se dobiva vrlo tvrda kora iznad meke žilave jezgre. Kaljenje nakon cementacije ovisi o traženim svojstvima.

2. Svi navedeni čelici mogu se variti varničenjem i taljenjem. Ako se vare legirani čelici, treba poduzeti odgovarajuće mjere (npr. predgrijanje).

3. Kupac treba da u narudžbi navede stanje termičke obrade u kojem želi da čelik bude dobavljen.

4. Oznake čelika vidi u 90.

Čelici za poboljšanje

prema JUS C.B9.021

94

Poboljšanje je termički postupak da se već upola ili posve obrađen konstrukcioni dio odmah nakon kaljenja u ulju, vodi ili zraku ponovo polako zagrije na temperaturu preko 350° C (već prema vrsti čelika) te zatim polako ili brzo ohladi.

a) Ugljični čelici — neke osnovne vrijednosti

Oznaka JUS	Ižareno stanje	Poboljšano stanje				Normalizirano stanje		
	Tvrdoća HB kp/mm² maks.	Granica razvlačenja kp/mm², za debljinu do 16 mm min.	>16 do 40 mm min.	>40 do 100 mm min.	Izduženje δ_5 % za debljinu > 16 do 40 mm min.	Promjer mm	Granica razvlačenja kp/mm² min.	Izduženje δ_5 % min.
Č. 1330	155	36	30	—	22	do 40	24	27
Č. 1331	155	36	30	—	22			
Č. 1430	172	42	37	33	18	do 100	28	22
Č. 1431	172	42	37	33	18			
Č. 1530	206	48	40	36	16	do 100	34	18
Č. 1531	206	48	40	36	16			
Č. 1730	243	57	49	44	14	do 100	39	15
Č. 1731	243	57	49	44	14			

Čelici Č.1331, Č.1431, Č.1531 i Č.1731 imaju manji sadržaj P i S (po 0,035% maks.) nego čelici Č.1330, Č.1430, Č.1530 i Č.1730 (po 0,045% maks.) pa zbog toga nešto veću kontrakciju.

Ostale podatke vidi u JUS C.B9.021 ili u katalogu »Jugoslavenski čelik« (izdanje Metalbiro, Zagreb).

b) Legirani čelici

JUS C.B9.021 sadrži manganske čelike (Č.3130 i Č.3131), mangan-silicijski čelik (Č.3230), mangan-vanadijski čelik (Č.3830), kromove čelike (Č. 4130 i Č.4131), krom-molibdenske čelike (Č.4730 do Č.4734), krom-vanadijski čelik (Č.4830) te krom-nikalne čelike.

Detaljne podatke vidi u JUS-u ili u katalogu »Jugoslavenski čelik«.

Boje žarenja i napuštanja čelika

(Vrijedi za nelegirane ili slabo legirane čelike)

95

Boje žarenja	Temperatura približno °C	Boje napuštanja	Temperatura približno °C
tamno smeđa	550	blijedo žuta	200
smeđe crvena	630	žuta poput slame	220
tamno crvena	680	tamno žuta	230
tamno trešnjasto crvena	740	smeđa	240
trešnjasto crvena	770	purpurno crvena	260
svijetlo trešnjasto crvena	800	ljubičasta	280
svijetlo crvena	850	tamno plava	290
jasno svijetlo crvena	900	zagasito plava	300
žućkasto crvena	950	lagano plava	320
svijetlo žućkasto crvena	1000	plavkasto siva	350
žuta	1100	siva	400
svijetlo žuta	1200		
žućkasto bijela	1300 i više		

96 Čelični limovi

1. Debeli čelični limovi (od 5 mm debljine naviše)

a) M j e r e

Debljina: Od 5 do 7 mm debljine u razmaku od po 0,5 mm, iznad 7 do 30 mm u razmaku od po 1 mm, iznad 30 mm u razmaku od po 2 mm.

Širina: Od 400 do 700 mm širine u razmaku od po 20 mm, iznad 700 mm u razmaku od po 50 mm.

Duljina: Razmak pojedinih duljina je 100 mm. Najmanja i najveća duljina ovisi o debljini i širini lima. Na primjer, najveća duljina lima širokog 1 m iznosi za pojedine debljine: 5 mm — 10 m, 6 do 19 mm — 12 m, 20 do 24 mm — 10 m, 25 i 28 mm — 8 m, 30 i 32 mm — 7 m, 35 i 40 mm — 6 m.

b) T o l e r a n c i j e su utvrđene u JUS C.B4.110

c) I z r a d a i i s p o r u k a prema JUS C.B4.012

d) P r o i z v o đ a č i : Željezara Jesenice sve mjere, Željezara Nikšić samo 1000× 2000×5 mm.

2. Srednji čelični limovi (od 3 do 4,75 mm)

a) M j e r e

Debljina: 3 — 3,5 — 4 — 4,5 — 4,75 mm.

Format: 1000×2000 ili 1250×2500 mm ili prema posebnoj specifikaciji.

b) T o l e r a n c i j e su utvrđene u JUS C.B4.111

c) I z r a d a i i s p o r u k a prema JUS C.B4.015

d) P r o i z v o đ a č i : Željezare Jesenice, Smederevo i Nikšić

3. Tanki čelični limovi (do 2,75 mm)

a) M j e r e

Debljina: 0,4 — 0,45 — 0,5 — 0,55 — 0,6 — 0,65 — 0,7 — 0,75 — 0,8 — 0,9 — 1 — 1,1 — 1,25 — 1,38 — 1,5 — 1,75 — 2 — 2,25 — 2,5 — 2,75 mm.

Širina: Normalna širina 1000 mm. Izuzetno mogu se ugovoriti širine i između 550 i 600 odn. 750 i 1000 pa i 1200 mm.

Duljina: Normalna duljina 2000 mm. Izuzetno mogu se ugovoriti duljine 1500 do 2000 za limove do 0,55 mm, 1500 do 2500 mm za limove 0,6 do 1,25 mm i 2000 do 3000 mm za limove 1,38 do 2,75 mm.

b) T o l e r a n c i j e : Ima dvije serije ovakvih limova

- prema JUS C.B4.113 s užim tolerancijama debljine, za limove od čelika Č.0147 i Č.0148.
- prema JUS C.B4.112 sa širim tolerancijama debljine, za limove od svih ostalih čelika.

c) M a t e r i j a l

Vrst limova	Standard	Oznaka JUS	Zatezna čvrstoća kp/mm²	Granica razvlačenja min. kp/mm²	Izduženje*	Savijanje $\alpha = 180°$ $D =$	Vrst površine
Limovi od niskougljičnih čelika	JUS C. B4. 016	Č. 0145[1])	28—50				P1,P2,P3
		Č. 0146[1])	28—42		II		P3, P4
		Č. 0147[2])	28—40	27	II		P4, P5
		Č. 0148[2])	28—38	24	III		P4, P5
Limovi od običnih ugljičnih konstrukcionih čelika	JUS C. B4. 017	Č. 0245[3])	34—42		I	0,5 *d*	P1 do P4
		Č. 0345[3])	37—45		I	0,5 *d*	„
		Č. 0445[3])	42—50		II	*d*	„
		Č. 0545	50—60		III		P2, P3
		Č. 0645	60—70		IV		„
		Č. 0745	70—85		V		„

* Rimski brojevi odgovaraju krivuljama izduženja prema JUS. Što je broj veći, izduženje je manje.

[1]) Normalno se izrađuju u neumirenom stanju.

[2]) Normalno se izrađuju u umirenom stanju.

[3]) Ovim čelicima se može garantirati zavarivost. Tada se oznaci dodaje V (npr. Č.0245V).

d) Oznake površine:

P1 – Limovi žareni bez zaštitnog poklopca. Dopuštene su boje popuštanja kao i labavo prionula kovarina.

P2 – Limovi žareni u žarnom sanduku pod zaštitnim poklopcem. Dopuštene su boje popuštanja i čvrsto prionula kovarina.

P3 – Površina lima mora biti bez kovarine.

P4 – Površina lima mora biti bez kovarine. Dopuštene su neznatna hrapavost kao posljedica otpale uvaljane kovarine te sitne ogrebotine nastale pri obradi površine.

P5 – Površina lima mora biti bez kovarine. Površinske pogreške (npr. male pore ili otisci od otpale, uvaljane kovarine) dopuštaju se samo ako ne utječu na besprijekoran izgled površine nakon lakiranja ili elektroplatiranja.

s – Sjajna površina. Dodatna oznaka za površine P4 ili P5 (P4s, P5s). Cijela površina mora biti glatka i jednolično svijetlo-sjajna. To se postiže naknadnim poliranjem.

m – »Mat« površina. Dodatna oznaka za površine P4 ili P5 (P4m, P5m). Cijela površina mora biti glatka bez sjaja (»mat«).

e) Proizvođači

Željezara Jesenice: sve debljine. Željezara Smederevo: 0,5 do 0,75 mm. Željezara Zemun: 0,5; 0,6; 0,75; 1; 1,25; 2; 2,5; 2,99 mm. Željezara Nikšić: 0,5 do 2,5 mm.

4. Pocinčani limovi (JUS C.B4.081)

a) Debljina, težina, tolerancije

Debljina mm	Težina kg/ploča*	Tolerancija težine ± %	Debljina mm	Težina kg/ploča*	Tolerancija težine ± %	Debljina mm	Težina kg/ploča*	Tolerancija težine ± %
0,45	7	8	0,75	11,45	7	2	31	6
0,5	7,75	7	0,8	12,1	7	2,25	35	6
0,55	8,5	7	1	15,5	6	2,5	39	6
0,6	9,25	7	1,25	19,3	6	3	46,75	6
0,65	10,1	7	1,5	23,25	6	3,5	54,5	6
0,7	10,75	7	1,75	27,25	6	4	62	5

b) Format: 1000 × 2000 mm (izuzetno 1000 × 2500 mm).

c) Proizvođači: Željezara Jesenice sve debljine, Željezara Smederevo 0,5 do 0,8 mm, Željezara Nikšić 0,5 do 0,65, 0,75, 1 do 1,5 mm, 2 i 2,5 mm.

5. Kotlovski limovi od ugljičnog čelika (JUS C.B4.014)

Oznaka JUS	Zatezna čvrstoća σ_z kp/mm²	Granica razvlačenja u kp/mm² pri 20°C	300°C	350°C	400°C	Izduženje δ_5% min.	Savijanje $\alpha = 180$ $D =$
Č. 1200	35—45	19	12	10	—	1000/σ_z	0
Č. 1201	41—50	22	14	12	—	,,	2a
Č. 1202 Č. 1203**	35—45	21	14	12	9	,,	0
Č. 1204 Č. 1205**	41—50	24	17	14	11	,,	2a
Č. 1206 Č. 1207**	44—53	26	19	16	13	,,	2,5a
Č. 1208**	34—42	21	14	12	9	30	0

Težine metalnih ploča u kg/m² za debljinu 1 mm

97

Materijal	Sivi liv	Čelik	Bakar	Mjed	Bronca	Olovo	Cink	Aluminij
Težina	7,25	7,85	8,90	8,50	8,6	7,2	11,37	2,73

Ploča površine 1 m² debela 1 mm, ima volumen 1 dm³. Težina ploče u kg dobije se tako da se površina ploče u m² pomnoži sa debljinom u mm i sa pripadnim brojem iz gornje tablice.

* Ploča 1000 × 2000 mm.

** Ovi su čelici otporni s obzirom na starenje. Proizvođač: Željezara Zenica.

98 a

Magnetski limovi (transformatorski i dinamo-limovi)

prema JUS C.K5.020/1955

MT-transformatorski limovi, MD — dinamo-limovi

Oznaka vrsti lima	Debljina lima[1]) mm	Širina × duljina ploče[2]) mm	Spec. masa[3]) kg/dm³	Broj naizmjen. savijanja[4])	Maksimalni gubici u W/kg kod 1 T[5])	1,5 T[5])
MT 93	0,35	750 × 1500	7,55	2	0,93	2,40
MT 100			7,55	2	1,00	2,60
MT 110			7,60	2	1,10	2,80
MT 125*			7,60	2	1,25	3,10
MT 135*			7,60	2	1,35	3,40
MT 145*			7,60	2	1,45	3,70
MD 170	0,5	1000 × 2000	7,65	10	1,70	4,30
MD 200			7,70	30	2,00	5,30
MD 240			7,75	30	2,40	6,80
MD 280			7,75	30	2,80	8,00
MD 700	1,0	1000 × 2000	7,75	30	do 7,00	do 16,00

Oznaka	Minimalna magnetska indukcija B u teslama za jakost polja H u A/cm												
	0,4	0,65	1	1,6	2,5	4	10	20	50	100	500	1000	2000
MT 93	0,45	0,67	0,86	1,02	1,15	1,25	1,36	1,43	1,55				
MT 100	0,20	0,41	0,66	0,87	1,05	1,20	1,34	1,43	1,55				
MT 110	0,20	0,41	0,66	0,87	1,05	1,20	1,34	1,43	1,55				
MT 125*	0,20	0,41	0,66	0,87	1,05	1,20	1,34	1,43	1,55				
MT 135*	0,20	0,41	0,66	0,87	1,05	1,20	1,34	1,43	1,55				
MT 145*	0,20	0,41	0,66	0,87	1,05	1,20	1,34	1,43	1,55				
MD 170				0,86	1,03	1,17	1,34	1,45	1,57	1,70	2,01	2,09	2,22
MD 200				0,86	1,03	1,17	1,34	1,45	1,57	1,70	2,01	2,09	2,22
MD 240				0,92	1,10	1,22	1,39	1,50	1,63	1,75	2,08	2,17	2,30
MD 280				0,92	1,10	1,22	1,39	1,50	1,63	1,75	2,08	2,17	2,30
MD 700				0,92	1,10	1,22	1,39	1,50	1,63	1,75	2,08	2,17	2,30

Podaci se odnose na gole, neizolirane limove.

Primjedba: Ovaj je standard danas u mnogome zastario. Na narednoj strani dani su kataloški podaci za moderne toplo i hladno valjane limove. Hladno valjani limovi imaju orijentirane kristale i poznati su u nas ponajviše pod trgovačkim imenom hipersil. Upotrebljavaju se samo kao transformatorski limovi. Nakon njihova rezanja i bušenja preporučuje se termička obrada, inače su im gubici veći.

* Upotreba ovih limova ne preporučuje se.

[1]) Tolerancija ± 10%. [2]) Tolerancija ± 1%. [3]) Informativno.

[4]) Uzorak lima širine 30 mm stavi se u čeljusti škripca koje imaju zaobljenje $r = 5$ mm. Lim se savija u oba pravca za kut 90° prema vertikali. Jednim savijanjem smatra se savijanje u bilo kojem smjeru za 90° i povratak u vertikalni položaj.

[5]) Gubici se ne garantiraju za obje vrijednosti magn. indukcije već samo za jednu vrijdnost odabranu sporazumno. 1 T (tesla) = 1 Wb/m² = 10 000 gausa.

Kataloški podaci za magnetske limove

a) Vruće valjani transformatorski i dinamo-limovi proizvodnje Terni-Armco

Kvaliteta	Debljina mm	Maksimalni gubici [1]) u W/kg kod 1T*	1,5T*	Minimalna magnetska indukcija B u teslama za jakost polja H u A_{ist}/cm** 1	3	5	10	25	50	100	200	Upotreba
TSTA 9335	35	0,93	2,30	0,88	1,20	1,27	1,34	1,45	1,57	1,70	1,85	1
TSTA 1035	35	1,01	2,50	0,81	1,17	1,27	1,35	1,46	1,57	1,70	1,85	2
TSTA 1135	35	1,10	2,65	0,79	1,17	1,27	1,37	1,47	1,57	1,70	1,85	3
TRA 1335	35	1,30	2,90	0,79	1,17	1,27	1,37	1,47	1,58	1,72	1,87	4
MRA 1135	35	1,10	2,70	0,79	1,17	1,27	1,37	1,47	1,58	1,72	1,87	5
MRA 1550	50	1,50	3,70	0,79	1,17	1,27	1,37	1,48	1,58	1,72	1,87	6
DA 2050	50	2,00	4,60	0,62	1,17	1,28	1,39	1,51	1,61	1,72	1,85	7
DA 2350	50	2,30	5,60	0,62	1,17	1,28	1,40	1,51	1,61	1,72	0,86	8
DA 2650	50	2,60	6,50	0,59	1,16	1,28	1,40	1,52	1,61	1,72	1,86	9
DA 3050	50	3,00	7,40	0,51	1,20	1,34	1,45	1,55	1,65	1,77	1,90	10
DA 3650	50	3,60	8,60	0,50	1,21	1,36	1,48	1,61	1,70	1,81	1,93	11
DA 8100	50	8,00	18,00									12

b) Hladno valjani transformatorski limovi (limovi s orijentiranim kristalima) proizvodnje Armco[2])

Kvaliteta	Debljina mm	Maksimalni gubici [3]) u W/kg kod 1T*	1,5T*	Minimalna magnetska indukcija B u teslama za jakost magnetskog polja H u $(A_i)_{ef}$/cm*** 0,05	0,1	0,2	0,3	0,5	0,7	1,0	3,0	Upotreba
M 5	30	0,40	0,97	0,17	0,45	1,12	1,48	1,64	1,68	1,72	1,80	13
M 6	30	0,44	1,07	0,14	0,39	1,04	1,41	1,58	1,63	1,67	1,76	14
M 6	35	0,48	1,11			1,00	1,41	1,60	1,65	1,69	1,78	15
M 7	35	0,51	1,22			0,92	1,32	1,55	1,60	1,63	1,72	16

c) Upotreba pojedinih vrsti limova[4])

1 do 3 - energetski transformatori; 4 - transformatori za zavarivanje; 5 - veliki rotacioni strojevi; 6 - rotacioni strojevi srednje veličine; 7 - mali generatori, motori za hladnjake; 8 - elektromagneti, elektromotori za upotrebu u kućanstvu; 9 - mali istosmjerni motori i asinhroni motori za intermitirajući pogon; 10 - mali asinhroni motori, kranski motori; 11 - elektromotori za električne lokomotive; 12 - dijelovi polova, releji; 13 do 16 - energetski transformatori.

* 1 T (tesla) = 1 Wb/m^2 (veber po kvadratnom metru) = 10 000 gausa = 10 kilogausa.

** Za magnetiziranje istosmjernom strujom.

*** Pri magnetiziranju izmjeničnom strujom u Epsteinovu aparatu, pri čemu se mjeri efektivna vrijednost struje magnetiziranja i izračunava njezina jalova komponenta. Podaci vrijede za magnetski tok paralelan sa smjerom valjanja.

1) Kupac može tražiti garanciju gubitaka kod 1 T ili 1,5 T (ne kod obadvije indukcije).

2) Hladno valjani limovi (limovi s orijentiranim kristalima) poznati su u nas pod trgovačkim imenom hipersil.

3) Garantiraju se gubici kod 1,5 T. Limovi se nakon vezanja termički obrađuju pri 790° C.

4) Navedena je samo ona upotreba za koju se pojedine vrsti limova naročito preporučuju.

99

Težine čeličnih limova, plosnatog, obručnog i trakastog čelika

u kilopondima po metru duljine

Širina mm	Debljina u milimetrima														
	0,25	0,5	0,75	1	2	3	4	5	6	8	10	13	16	20	25
8	0,010	0,031	0,047	0,063	0,123	0,188	0,251	0,314	0,377	0,502	0,628	0,816	1,005	1,256	1,570
10	0,020	0,039	0,059	0,079	0,157	0,236	0,314	0,393	0,471	0,628	0,785	1,021	1,256	1,570	1,963
13	0,026	0,051	0,076	0,102	0,204	0,306	0,408	0,510	0,612	0,816	1,021	1,327	1,633	2,041	2,551
16	0,031	0,063	0,094	0,126	0,251	0,377	0,502	0,628	0,754	1,005	1,256	1,634	2,010	2,512	3,140
20	0,039	0,079	0,118	0,157	0,314	0,471	0,628	0,785	0,942	1,256	1,570	2,041	2,512	3,140	3,925
25	0,049	0,098	0,147	0,196	0,393	0,589	0,785	0,981	1,178	1,570	1,963	2,551	3,140	3,925	4,906
30	0,059	0,118	0,177	0,236	0,471	0,707	0,942	1,178	1,413	1,884	2,355	3,062	3,768	4,710	5,887
35	0,069	0,138	0,206	0,275	0,550	0,824	1,099	1,374	1,649	2,198	2,748	3,572	4,396	5,495	6,870
40	0,079	0,157	0,236	0,314	0,628	0,942	1,256	1,570	1,884	2,512	3,140	4,082	5,024	6,280	7,850
50	0,098	0,196	0,295	0,393	0,785	1,178	1,570	1,962	2,355	3,140	3,925	5,102	6,280	7,850	9,813
60	0,118	0,236	0,353	0,471	0,942	1,413	1,884	2,355	2,826	3,768	4,710	6,123	7,536	9,420	11,78
70	0,137	0,275	0,412	0,549	1,099	1,649	2,198	2,748	3,297	4,396	5,495	7,144	8,792	10,99	13,74
80	0,157	0,314	0,471	0,628	1,256	1,884	2,512	3,140	3,768	5,024	6,280	8,164	10,05	12,56	15,70
90	0,177	0,353	0,529	0,706	1,413	2,119	2,826	3,532	4,239	5,652	7,065	9,184	11,30	14,13	17,66
100	0,196	0,393	0,589	0,785	1,570	2,355	3,140	3,925	4,710	6,280	7,850	10,21	12,56	15,70	19,63
150	0,294	0,589	0,883	1,177	2,355	3,532	4,710	5,887	7,065	9,420	11,78	15,31	18,84	23,55	29,44
200	0,393	0,785	1,178	1,570	3,140	4,710	6,280	7,850	9,420	12,56	15,70	20,41	25,12	31,40	39,25
250	0,491	0,981	1,471	1,962	3,925	5,887	7,850	9,812	11,78	15,70	19,63	25,51	31,40	39,25	49,00
300	0,589	1,178	1,766	2,355	4,710	7,065	9,420	11,78	14,13	18,84	23,55	30,62	37,68	47,10	58,88
400	0,785	1,570	2,355	3,140	6,280	9,420	12,56	15,70	18,84	25,12	31,40	40,02	50,24	62,80	78,50
700	1,374	2,748	4,121	5,500	10,99	16,49	21,98	27,48	32,97	43,96	54,95	71,44	87,92	109,9	137,4
1000	1,962	3,925	5,888	7,850	15,70	23,55	31,40	39,25	47,10	62,80	78,50	102,1	125,6	157,0	196,3

Pobliže o dimenzijama, težinama i tolerancijama naših čeličnih limova vidi u jug. standardima JUS C.B4.011/1952 (Debeli čelični limovi) JUS C.B4.051/1952 (Tanki čelični limovi).

Okrugli betonski čelik

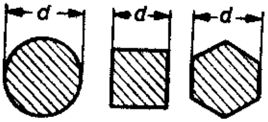
100

vruće valjan (prema JUS C.K6.020/1955)

Promjer	Presjek	Težina	Promjer	Presjek	Težina	Promjer	Presjek	Težina
mm	cm²	kg/m	mm	cm²	kg/m	mm	cm²	kg/m
5	0,196	0,154	*14*	1,54	1,21	*28*	6,16	4,83
6	0,283	0,222	16	2,01	1,58	30	7,07	5,55
7	0,385	0,302	18	2,54	1,99	32	8,04	6,30
8	0,503	0,395	*20*	3,14	2,46	36	10,2	7,99
10	0,785	0,616	22	3,80	2,98	*40*	12,6	9,87
12	1,13	0,885	25	4,91	3,85			

Preporučuje se upotreba promjera štampanih kurzivom (koso).

Proizvodi se od materijala Č.0002 (bez garantirane zatezne čvrstoće, ali sa minimalnom granicom razvlačenja 18,5 kp/mm² za promjer do 10 mm odn. 17 kp/mm² za promjer 12 do 20 mm), Č.0200 (zatezna čvrstoća 36, granica razvlačenja 24 kp/mm² i Č.0501 (zatezna čvrstoća 50, granica razvlačenja 34 kp/mm²). Ako se garantira varivost, treba oznaci čelika dodati V (npr. Č.0200 V).



Težina šipkastog čelika

101

a) Okrugli čelik

d	G	d	G	d	G	d	G	d	G
mm	kg/m	mm	kg/m	mm	kg/m	mm	kg/m	mm	kg/m
6	0,222	16	1,58	32	6,31	55	18,7	100	61,6
7	0,302	17	1,78	34	7,13	60	22,2	110	74,6
8	0,395	18	2,00	35	7,99	63	24,5	120	88,7
9	0,499	19	2,23	38	8,90	65	26,0	125	96,3
10	0,617	20	2,47	40	9,87	70	30,2	130	104
11	0,746	22	2,98	42	10,9	75	34,7	140	121
12	0,888	25	3,85	45	12,5	80	39,5	150	139
13	1,042	27	4,50	46	13,1	85	44,5	160	158
14	1,21	28	4,83	48	14,2	90	49,9	180	200
15	1,39	30	5,55	50	15,4	95	55,6	200	247

Za okrugli čelik vruće valjan vidi JUS C.B3.021/1960., a za vučeni okrugli čelik JUS C.B3.411/1960. i C.B3.412.

b) T e ž i n e k v a d r a t n o g č e l i k a dobiju se tako da se vrijednosti u tablici pomnože sa 1,273.

Za kvadratni čelik vruće valjan vidi JUS C.B3.024/1960., a za vučeni kvadratni čelik JUS C.B3.421/1960.

c) T e ž i n e š e s t o r o b r i d n o g č e l i k a dobiju se tako da se vrijednosti u tablici pomnože sa 1,1.

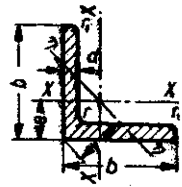
Za šestorobridni čelik vruće valjan vidi JUS C.B3.026/1960., a za vučeni šestorobridni čelik JUS C.B3.441/1960.

102

Čelični istokraki kutnici

prema JUS C.B3.101/1960 (DIN 1028)

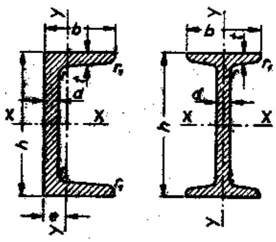
Izrađuju se od ugljičnih konstrukcionih čelika s garantiranim mehaničkim osobinama prema JUS C.B0.500 (vidi 91) te od čelika za noseće konstrukcije prema JUS C.B0.501 (vidi 92). Dobavljaju se u duljinama 3 do 15 m, i to u »gruboj duljini« (tolerancija ± 100 mm) i »tačno rezanoj duljini« (tolerancija ± 5 mm).



Oznaka ($b \times b \times d$) mm	r	r_1	Presjek	Težina	I_x	W_x	$I_\eta = I_{min}$	m	n_{max} ∅
	mm	mm	cm²	kg/m	cm⁴	cm³	cm⁴	mm	mm
20·20·3	3,5	2	1,12	0,88	0,39	0,28	0,15	—	—
25·25·3	3,5	2	1,42	1,12	0,79	0,45	0,31	—	—
25·25·4	3,5	2	1,85	1,45	1,01	0,58	0,40	—	—
30·30·3	5	2,5	1,74	1,36	1,41	0,65	0,57	17	8,5
30·30·4	5	2,5	2,72	1,78	1,81	0,86	0,76	17	8,5
30·30·5	5	2,5	2,78	2,18	2,16	1,04	0,91	17	8,5
35·35·4	5	2,5	2,67	2,10	2,96	1,18	1,24	20	11
40·40·4	6	3	3,08	2,42	4,48	1,56	1,86	22	11
40·40·5	6	3	3,79	2,97	5,43	1,91	2,22	22	11
45·45·5	7	3,5	4,30	3,38	7,83	2,43	3,25	25	11
50·50·5	7	3,5	4,80	3,77	11,0	3,05	4,59	30	14
50·50·6	7	3,5	5,69	4,47	12,8	3,61	5,24	30	14
55·55·6	8	4	6,31	4,95	17,3	4,40	7,24	30	17
60·60·6	8	4	6,91	5,42	22,8	5,29	9,43	35	17
60·60·8	8	4	9,03	7,09	29,1	6,88	12,1	35	17
65·65·7	9	4,5	8,70	6,83	33,4	7,18	13,8	35	20
70·70·7	9	4,5	9,40	7,38	42,4	8,43	17,6	40	20
70·70·9	9	4,5	11,9	9,34	52,6	10,6	22,0	40	20
75·75·8	10	5	11,5	9,03	58,9	11,0	24,4	40	23
75·75·10	10	5	14,1	11,1	71,4	13,5	29,8	40	23
80·80·8	10	5	12,3	9,66	72,3	12,6	29,6	45	23
80·80·10	10	5	15,1	11,9	87,5	15,5	35,9	45	23
80·80·12	10	5	17,9	14,1	102	18,2	43,0	45	23
90·90·9	11	5,5	15,5	12,2	116	18,0	47,8	50	26
90·90·11	11	5,5	18,7	14,7	138	21,6	57,1	50	26
100·100·10	12	6	19,2	15,1	177	24,7	73,3	55	26
100·100·12	12	6	22,7	17,8	207	29,2	86,2	55	26
110·110·10	12	6	21,2	16,6	239	30,1	98,6	55	26
110·110·12	12	6	25,1	19,7	280	35,7	116	55	26
120·120·11	13	6,5	25,4	19,9	341	39,5	140		
120·120·13*	13	6,5	29,7	23,3	394	46,0	162		

I - moment tromosti, W - moment otpora za pripadnu os savijanja. Polumjer tromosti $i = \sqrt{I/S}$ (S - presjek). $I_x = I_y$, $W_x = W_y$. Udaljenost osi $e = b - I_x/W_x$. m - udaljenost od lijevog donjeg ruba do osi eventualnog provrta za zakovicu, n - provrt za zakovicu.

* Ovi se profili izrađuju do veličine 200 · 200 · 18.



Čelični U-profili, čelični I-profili
prema JUS C.B3.141/1960 i C.B3.131/1960[1])

Izrađuju se od ugljičnih konstrukcionih čelika s garantiranim mehaničkim osobinama prema JUS C.B0.500 (vidi **91**) te od čelika za noseće konstrukcije JUS C.B0.501 (vidi **92**). Dobavljaju se u duljinama 4 do 15 m, i to u „gruboj duljini" (tolerancija ± 100 mm) i „tačno rezanoj duljini" (tolerancija ± 5 mm).

Oznaka (mjera h cm)	b mm	d mm	$t = r$[2]) mm	e mm	Presjek mm²	Težina kg/m	I_x cm⁴	W_x cm³	I_y cm⁴	W_y cm³
U 3	33	5	7	1,31	5,44	4,27	6,4	4,26	5,33	2,68
U 4	35	5	7	1,33	6,21	4,87	14,1	7,05	6,68	3,08
U 5	38	5	7	1,37	7,12	5,59	26,4	10,6	9,12	3,75
U 6,5	42	5,5	7,5	1,42	9,03	7,09	57,5	17,7	14,1	5,07
U 8	45	6	8	1,45	11,0	8,64	106	26,5	19,4	6,36
U 10	50	6	8,5	1,55	13,5	10,6	206	41,2	29,3	8,49
U 12	55	7	9	1,60	17,0	13,4	364	60,7	43,2	11,1
U 14	60	7	10	1,75	20,4	16,0	605	86,4	62,7	14,8
U 16	65	7,5	10,5	1,84	24,0	18,8	925	116	85,3	18,3
U 18	70	8	11	1,92	28,0	22,0	1350	150	114	22,4
U 20	75	8,5	11,5	2,01	32,2	25,3	1910	191	148	27,0
U 22	80	9	12,5	2,14	37,4	29,4	2690	245	197	33,6
U 24	85	9,5	13	2,23	42,3	33,2	3600	300	248	39,6
U 26	90	10	14	2,36	48,3	37,9	4820	371	317	47,7
U 28	95	10	15	2,53	53,3	41,8	6280	448	399	57,2
U 30*	100	10	16	2,70	58,8	46,2	8030	535	495	67,8
I 8	42	3,9	5,9		7,6	6,0	78	19,5	6,3	3,0
I 10	50	4,5	6,8		10,6	8,3	171	34,2	12,2	4,9
I 12	58	5,1	7,7		14,2	11,2	328	54,7	21,5	7,4
I 14	66	5,7	8,6		18,3	14,4	573	81,9	35,2	10,7
I 16	74	6,3	9,5		22,8	17,9	935	117	54,7	14,8
I 18	82	6,9	10,4		27,9	21,9	1450	161	81,3	19,8
I 20	90	7,5	11,3		33,5	26,3	2140	214	117	26,0
I 22	98	8,1	12,2		39,6	31,1	3060	278	162	33,1
I 24	106	8,7	13,1		46,1	36,2	4250	354	221	41,7
I 26	113	9,4	14,1		53,4	41,9	5740	442	288	51,0
I 28	119	10,1	15,2		61,1	48,0	7590	542	364	61,2
I 30*	125	10,8	16,2		69,1	54,2	9800	653	451	72,2

I-moment tromosti, W-moment otpora za pripadnu os savijanja. Polumjer tromosti $i = \sqrt{I/S}$ (S-presjek). Za U-profil $c = b - I_y/W_y$.

[1]) JUS C.B3.141 odgovara DIN 1026, a JUS C.B3.131 odgovara DIN 1025.
[2]) $r_1 = t/2$.
* U-profili se izrađuju do U 40, a I-profili do I 60.

104

Čelične cijevi

1. Standardi

Tehnički propisi za izradu i isporuku čeličnih cijevi bez propisanih mehaničkih osobina JUS C.B5.020, sa propisanim mehaničkim osobinama JUS C.B5.021. Standardi serija, mjera i tolerancija: Za cijevi sa navojem JUS C.B5.225 (od Č.0003) i C.B5.222 (od Č.0206) te za glatke cijevi JUS C.B5.226 (od Č.0003), C.B5.122 (od Č.0206), C.B5.123 (od Č.0406) i C.B5.124 (od Č.0506).

2. Materijal

Č.0003 je čelik bez garantiranih mehaničkih osobina (St 00 prema DIN). Cijevi od ovog materijala ispituju se hidraulički ovim probnim tlakovima:

- bešavne cijevi sa navojem, srednje teške . . . . . . 32 at
- bešavne cijevi sa navojem, teške . . . . 40 at
- šavne cijevi sa navojem, srednje teške . . . . 25 at
- šavne cijevi sa navojem, teške . . . . 32 at
- bešavne cijevi glatke . . . . 50 at

Čelici za cijevi s garantiranim mehaničkim osobinama jesu:
Č0206, zatezna čvrstoća 35—45 kp/mm², $\delta_{5min} = 25\%$, $\delta_{10min} = 20\%$
Č0406, zatezna čvrstoća 45—55 kp/mm², $\delta_{5min} = 21\%$, $\delta_{10min} = 17\%$
Č0506, zatezna čvrstoća 55—65 kp/mm², $\delta_{5min} = 17\%$, $\delta_{10min} = 14\%$
Č0606, zatezna čvrstoća 65—75 kp/mm², $\delta_{5min} = 12\%$, $\delta_{10min} = 10\%$

3. Nazivne vrijednosti

N a z i v n a v e l i č i n a (NV) cijevi je približni ili, bolje rečeno, označbeni unutarnji promjer cijevi izražen u milimetrima ili colima. Stvarni unutarnji promjer cijevi može se dosta znatno razlikovati od nazivne veličine, već prema debljini stijenka koja može biti različita, a ovisi o tlaku i temperaturi za koje se cijev upotrebljava. Kao daljnja oznaka cijevi ne upotrebljava se međutim debljina stijenke nego n a z i v n i p r i t i s a k NP. Potpuna oznaka cijevi npr.: cijev NV 40, NP 50, crna JUS C.B5.122.

4. Bešavne ili šavne cijevi sa cijevnim navojem (plinske, vodovodne i parovodne cijevi)

Nazivna veličina		Vanjski promjer		Srednje teške cijevi				Teške cijevi			
				stijenka mm		težina kg/m		stijenka mm		težina kg/m	
cola	mm	JUS	DIN	JUS	DIN	JUS	DIN	JUS	DIN	JUS	DIN
1/8"	6	10	10,2	2	2	0,395	0,407	2,5	2,65	0,462	0,493
1/4"	8	13,25	13,5	2,25	2,35	0,610	0,650	2,75	2,9	0,712	0,769
3/8"	10	16,75	17,2	2,25	2,35	0,805	0,852	2,75	2,9	0,949	1,02
1/2"	15	21,25	21,3	2,75	2,65	1,25	1,22	3,25	3,25	1,44	1,45
3/4"	20	26,75	26,9	2,75	2,65	1,63	1,58	3,5	3,25	2,01	1,90
1"	25	33,5	33,7	3,25	3,25	2,42	2,44	4	4,05	2,91	2,97
1¼"	32	42,25	42,4	3,25	3,25	3,13	3,14	4	4,05	3,77	3,84
1½"	40	48,25	48,3	3,5	3,25	3,86	3,61	4,25	4,05	4,61	4,43
2"	50	60	60,3	3,75	3,65	5,20	5,10	4,5	4,5	6,16	6,17
2½"	65	75,5	76,1	3,75	3,65	6,64	6,51	4,5	4,5	7,88	7,90
3"	80	88,25	88,9	4	4,05	8,31	8,47	4,75	4,85	9,78	10,1
4"	100	113,5	114,3	4,25	4,5	11,5	12,1	5	5,4	13,4	14,4
5"	125	139	139,7	4,5	4,85	14,9	16,2	5,5	5,4	18,1	17,8
6"	150	164,5	165,1	4,5	4,85	17,8	19,2	5,5	5,4	21,6	21,2

JUS C.B5.225, DIN 2440.

Težina se odnosi na crne cijevi. Pocinčane cijevi teže su za 3,5 do 5%.

Željezara Sisak proizvodi ove cijevi za sada prema DIN 2440 od čelika St 00 (Č.0003). Cijevi 1/8" i 1/4" za sada ne proizvodi. Cijevi se izrađuju kao: a) crne, b) pocinčane, c) sa metalnim zaštitnim premazom, d) sa zaštitnom masom i omatanjem (za cijevi koje se polažu u zemlju). Cijevi se normalno isporučuju u različnim proizvodnim dužinama (prosječno 6 m) s koničnim cijevnim navojem na oba kraja i jednom navijenom spojnicom s cilindričnim navojem. Odstupanje u težini za pojedinu cijev ± 10%, a za količinu od barem 10 tona ± 7,5%.

Željezara Jesenice proizvodi ove cijevi prema JUS kao šavne cijevi od 1/8" do 3" u poluteškoj izvedbi. Cijevi se isporučuju kao crne (1/8" do 3") ili pocinčane (3/8" do 3"), u promjenljivim proizvodnim dužinama s koničnim cijevnim navojem na oba kraja i jednom priloženom spojkom.

5. Bešavne cijevi glatke prema JUS

Serija nazivnih veličina (NV): 4 — 6 — 8 — 10 — 15 — 20 — 25 — 32 — 40 — 50 — (60) — 70 — 80 — (90) — 100 — (110) — 125 — 150 — (175) — 200 — (225) — 250 — (275) — 300 — (325) — 350 — (375) — 400 — 450 — 500 — (550) mm.

Cijevi od Č.0003 (JUS C.B5.226) standardizirane su za NV 4 do 550 mm. Radni pritisak 1 do 25 at.

Cijevi od Č.0206 (JUS C.B5.122) standardizirane su za NV 4 do 100 mm, NP 1—32, 40, 50, 64, 80 i 100 at.

Cijevi od Č.0406 (JUS C.B5.123) standardizirane su za NV 4 do 100 mm, NP 1—40, 50, 64, 80 i 100 at.

Cijevi od Č.0506 (JUS C.B5.124) standardizirane su za NV 4 do 100 mm, NP 1—50, 64, 80 i 100 at.

6. Bešavne cijevi glatke iz proizvodnje Željezare Sisak (prema DIN 2448).

Vanjski promjer		Normalna stijenka		Deblje stijenke[1])	Vanjski promjer		Normalna stijenka		Deblje stijenke[1])
mm	col	mm	kg/m	mm	mm	col	mm	kg/m	mm
10*	13/32''	1,5	0,314	2 i 2,5	89	3 1/2''	3,25	6,87	3,5 — 12
14*	9/16''	2	0,592	2,5 i 3	108	4 1/4''	3,75	9,64	4 — 14
18*	13/32''	2	0,789	2,5 — 4	133	5 1/4''	4	12,7	4,5 — 16
22*	7/8''	2	0,888	2,5 — 4	159	6 1/4''	4,5	17,2	5 — 18
25*	1''	2	1,13	2,5 — 5	191	7 1/2''	5,25	24,0	5,5 — 22
30	1 3/16''	2,5	1,70	3 — 5	216	8 1/2''	6	31,1	7 — 22
32	1 1/4''	2,5	1,82	3 — 6	267	10 1/2''	6,5	41,8	7 — 24
35	1 3/8''	2,5	2,00	3 — 7	318	12 1/2''	7,5	57,4	8 — 30
38	1 1/2''	2,5	2,19	3 — 7	368*	14 1/2''	8	71,0	9 — 32
44,5	1 3/4''	2,5	2,59	3 — 7	419*	16 1/2''	9,5	95,9	10 — 35
51	2''	2,5	2,99	3 — 8	470*	18 1/2''	10,5	119	11 — 35
57	2 1/4''	2,75	3,68	3 — 9	521*	20 1/2''	11,5	144	12 — 35
63,5	2 1/2''	3	4,48	3,5 — 10	572*	22 1/2''	12,5	172	14 — 35
76	3''	3	5,40	3,5 — 11					

Ove cijevi služe za provođenje tekućina i plinova te kao konstrukcioni elementi. Cijevi se mogu izraditi od čelika bez propisanih mehaničkih osobina Č.0003 te sa propisanim mehaničkim osobinama Č.0206, Č.0406, Č.0506 i Č.0606.

7. Bešavne precizne čelične cijevi iz proizvodnje Željezare Sisak (prema DIN 2385)

Proizvode se za ove nazivne vanjske promjere: *15* — 16 — 17 — *18* — 19 — *20* — 22 — 24 — *25* — 28 — *30* — 32 — *34* — *35* — 36 — 37 — 38 — *40* — 42 — *45* — 48 — *50* — 52 — 55 — 58 — *60* — 62 — 65 — 68 — *70* — 75 — *80* — 85 — *90* — 95 — 100 mm**. Debljina stijenke iznosi 0,5 do 10 mm.

Težina čelične žice

104 a

mm	kg/km	mm	kg/km	mm	kg/km	mm	kg/km	mm	kg/km
0,2	0,247	1,0	6,17	2,2	29,8	3,8	89,0	5,5	187
0,3	0,555	1,2	8,88	2,5	38,5	4,0	98,6	6,0	222
0,4	0,985	1,4	12,1	2,8	48,3	4,2	108,8	6,5	260
0,5	1,54	1,6	15,8	3,0	55,5	4,5	125	7,0	302
0,6	2,22	1,8	20,0	3,2	63,1	4,75	139	7,5	347
0,8	3,95	2,0	24,7	3,5	75,5	5,0	154	8,0	395

[1]) Posebne debljine stijenke, veće od normalne debljine, jesu: 2, 2,5, 3, 3,5, 4, 4,5, 5, 5,5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 14, 16, 18, 20, 22, 24, 26, 28, 30, 32, 36 mm.

* Ove cijevi Željezara Sisak za sada ne proizvodi.

** Treba dati prednost cijevima kurzivno štampanog promjera.

105 a

Čelični liv - standardni

prema JUS C.J3.011/1955 (ugljični čelični liv)

Oznaka JUS	Oznaka DIN	Zatezna čvrstoća kp/mm² min.	Granica razvlačenja kp/mm² min.	Izduženje δ_5 % min.	Žilavost mkp/cm² min.	Savijanje $\alpha = 180°$ $D =$	Maksimalni sadržaj P %	S %	P + S %
ČL 0000									
ČL 0300	GS 38	38		20					
ČL 0400	GS 45	45		16					
ČL 0500	GS 52	52		12					
ČL 0600	GS 60	60		8					
ČL 0345	GS 38.1	38	18	25			0,05	0,06	0,10
ČL 0346		38	18	25	5	2*a*	0,05	0,06	0,10
ČL 0445	GS 45.1	45	22	22			0,05	0,06	0,10
ČL 0446		45	22	22	4	3*a*	0,05	0,06	0,10
ČL 0545	GS 52.1	52	25	18			0,05	0,06	0,10
ČL 0546		52	25	18	3	4*a*	0,05	0,06	0,10
ČL 0645	GS 60.1	60	36	18			0,05	0,06	0,10

ČL 0000 i ČL 0300 — za podređene svrhe. ČL 0400, ČL 0500 i ČL 0600 — normalni čelični liv. ČL 0345 do ČL 0645 — kvalitetni čelični liv.

V a r i v o s t. Svaki čelični liv mora se bez poteškoća variti taljenjem, osim ČL 0645 za koji je potreban poseban postupak.

T e r m i č k a o b r a d a. Svi odlivci moraju biti termički obrađeni jednim od ovih postupaka: a) žarenjem (iznad 650° C), b) normalizacijom, c) normalizacijom i mekim žarenjem.

105 b

Čelični liv s naročitim magnetskim svojstvima

prema DIN 1681

Oznaka DIN	Zatezna čvrstoća kp/mm² min.	Izduženje δ_5 % min.	Magnetska indukcija B iznosi u magnetskom polju H: $H=$	25	50	100	A/cm
GS 38.9	38	20	$B=$	1,45	1,60	1,75	T
GS 45.9	45	16					

I s p i t i v a n j e. Za ispitivanje vrijede standardi JUS: C.A4.002 (zatezanje), C.A4.004 (žilavost) i C.A4.005 (savijanje).

106

Temprovani liv

prema JUS C.J2.021/1958

Vrst temprovanog liva	Oznaka JUS	Oznaka DIN nova	Oznaka DIN stara	Zatezna čvrstoća min. kp/mm²	Izduženje δ_5 %[1] min.	Tvrdoća HB maks. kp/mm²	Primjedba
Bijeli temprovani liv	BTeL00	—	—	—	—	250	
	BTeL35	GTW—35	TeG 92	34	3	200	
	BTeL40	GTW—40	TeW 92	38	5	200	
Crni temprovani liv	CTeL35	GTS—35	—	33	8	150	feritni liv
	CTeL38	GTS—38	TeS 92	37	12	140	„ „
	CTeL45	—	—	40	5	250	perlitni liv

[1] Za promjer epruvete 15 mm.

JUS navodi mehanička svojstva za različne promjere epruvete koji ovise o debljini stijenke odliva.

Ispitivanje temprovanog liva zatezanjem vidi u JUS C.A4.015.

Sivi i tvrdi liv

prema JUS C.J2.020/1958 (za nelegirane i nisko legirane livove)

1. Sivi liv

Grupa liva	Oznaka JUS	Oznaka DIN nova	Oznaka DIN stara	Zatezna čvrstoća kp/mm² min.	Savojna čvrstoća kp/mm² min.	Progib mm min.	Tvrdoća HB orijentaciono kp/mm²
Običan liv	SL 00 SL 14	GG–12 GG–14	Ge 12.91 Ge 14.91	14	28*	7*	do 240 160 do 230
Liv srednje čvrstoće	SL 18 SL 22	GG–18 GG–22	Ge 18.91 Ge 22.91	18 22	34* 40*	7* 8*	170 do 230 170 do 240
Liv velike čvrstoće	SL 26 SL 30	GG–26 GG–30	Ge 26.91 Ge 30.91	26 30	46 48	8 8	170 do 240 180 do 260

2. Sivi liv sa magnetskim svojstvima

Oznaka JUS: ESL 12 (oznaka DIN GGL-10.9 prema DIN 1691), zatezna čvrstoća barem 12 kp/mm², tvrdoća HB najviše 230 kp/mm²

Jakost magnetskog polja	12,5	25	50	100	A/cm
proizvodi magn. indukciju (barem)	0,5	0,6	0,8	0,95	T

3. Tvrdi liv

Tvrdokorni liv TTL: Za valjke za metalnu, papirnu, mlinsku i sličnu industriju, za kotače za željeznicu i tramvaj, za dijelove drobilica, za dijelove ventila za motore, dijelove izložene habanju itd.

Bijeli liv BTL: Za kugle za mlinove i okretnice, za mlaznice za pjeskarenje, za razne valjke itd.

Osnovni materijal, obradivost, tvrdoću, debljinu kore itd. treba posebno ugovoriti.

4. Tolerancije težine

Stvarna težina odlivka (određena vaganjem) može se razlikovati od »utvrđene težine« (termin prema JUS, kaže se i računska težina) za do 50%, a da naručilac ne može odbiti preuzimanje odlivka, ako u standardu za dotični odlivak ili u ugovoru nije drugačije određeno. Višak težine preko niže navedenih tolerancija naručilac ne plaća ako standard za dotični odlivak ili ugovor ne određuje drugačije.

Utvrđena ili računska težina određuje se prema crtežu uzimajući za specifičnu težinu 7,4 kg/dm³ ako je prosječna debljina stijenki odliva do 10 mm, odnosno 7,25 kg/dm³ ako je prosječna debljina stijenki odliva veća.

Tolerancije težine odlivka:

Prosječna debljina stijenki odlivka mm	Tolerancije težine u % — Odlivak izrađen pomoću drvenog ili metalnog modela	Tolerancije težine u % — Odlivak izrađen pomoću skeletnog modela ili šablona
do 15	Višak težine koji nastaje kad se debljina poveća za 1 mm	2 mm
iznad 15 do 30	+ 7	+ 12
iznad 30	+ 5	+ 10

5. Ispitivanje mehaničkih svojstava

Uzimanje uzoraka vidi u JUS C.A4.012, ispitivanje zatezanjem u C.A4.013, ispitivanje savijanjem u C.A4.014.

---

* Orijentacione vrijednosti.

108

Aluminijske legure (slitine) i aluminij*

1. Označivanje legura prema JUS C.C0.002

T e h n o l o š k a n a m j e n a označuje se slovnom oznakom: P — za pješčani liv, K— za kokilni liv, T — za tlačni liv, C — za centrifugalni liv, S — za spajanje (lemljenje i varenje), D — za dodavanje. Bez slovne oznake: legure za gnječenje.

O s n o v n i k e m i j s k i s a s t a v označuje se složenom oznakom koja se sastoji od:
- kemijskog simbola za aluminij;
- kemijskih simbola glavnih dodatnih elemenata sa nazivnim postotkom takvog elementa ako je to potrebno;
- kemijskih simbola sporednih dodatnih elemenata sa nazivnim postotkom takvog elementa (opet samo ako je potrebno).

2. Legure za lijevanje prema JUS C.C2.300

Oznaka JUS	Namjena	Sastav u % (aluminij i nečistoće nisu navedeni)	Zatezna čvrstoća kp/mm²	Granica razvlačenja kp/mm²	Izduženje δ_5%	Tvrdoća HB kp/mm²
P.AlSi 12	1	Si 11 — 13,5, Mn 0,3 — 0,5	14—20	7— 9	8—3	60— 80
K.AlSi 12		Isto	15—20	9—11	9—4	70— 90
T.AlSi 12		Si 11 — 13, Mn0,2 — 0,7, Mg 0 — 0,5	18—26	9—12	4—1	60— 90
P.AlSi 12 Cu	2	Si 11 — 13, Cu 0 — 1,5	15—22	8—10	4—1	50— 65
K.AlSi 12 Cu		Isto	16—26	9—12	4—1	55— 75
P.AlSi 10 Mg	3	Si 9 — 11, Mg 0,25 — 0,4, Mn 0,3 — 0,6	24—30	18—25	8—2	70— 90
K.AlSi 10 Mg		Isto	25—30	20—26	8—2	75— 95
K.AlSi 8 Cu 3	4	Si 7,5 — 9,5, Cu 3 — 4	18—24	12—18	3—1	70—100
T.AlSi 8 Cu 3		Si 7,5 — 10,5, Cu 3 — 4	18—26	12—18	3—1	80— 90
T.AlSi 8	5	Si 6 — 10, Mn 0,2 — 0,7, Mg0 — 0,5	17—24	12—16	3—1	55— 85
P.AlSi 5 Cu 3	6	Si 4 — 6, Cu 2 — 4	13—18		do 1,5	do 80
K.AlSi 5 Cu 3		Isto	17—22		2—1	do 90
T.AlMg 8	7	Mg 6 — 10, Mn 0,2 — 0,7	16—24	12—14	3—1	60— 80
K.AlMg 7		Mg 7 — 8	24—28	11—14	10—7	65— 75
P.AlMg 4		Mg 4 — 5	15—17	7— 9	8—5	45— 55

Druge legure vidi u JUS C.C2.300

N a m j e n a: 1) Srednje opterećeni tankozidni odlivci za opće svrhe (kemijska otpornost dobra). 2) Napregnutiji i tankozidni odlivci nepropusni za tekućinu. 3) Legura otporna na udarna opterećenja. 4) Odlivci veće čvrstoće. 5) Kemijski postojani komplicirani odlivci. 6) Legure za opće svrhe. 7) Antikorozivne legure.

T r g o v a č k i n a z i v i. Legure: AlSi: silumin; legure: AlSiCu bakar-silumin; legure: AlSiMg γ-silumin.

3. Legure za gnječenje prema JUS C.C2.100

Oznaka JUS	Namjena	Sastav u %	Stanje	Zatezna čvrstoća kp/mm² min.	Granica razvlač. kp/mm² min.	Izduženje min.	Tvrdoća HB kp/mm² min.
AlCu3Mg	1	Cu 2 — 3, Mg 0,2 — 0,5	kp	26	15	18	70
AlCu5Mg1	2	Cu 3,9 — 5, Mg 0,2 — 1, Mn 0,4 — 1,2	kp	40	26	12	100
AlCu5Mg2	2	Cu3,8 — 4,9, Mg 1,2 — 1,8, Mn 0,3 — 0,9	kp	44	28	10	110
AlCu6Pb	3	Cu 5 — 6, Pb 0,2 — 0,6, Bi 0,2 — 0,6	kh	30	23	10	75
AlMg1Si1	4	Mg 0,6 — 1,4, Si 0,6 — 1,6, Mn 0,2 — 1	kp	20	10	12	60
AlMg2	5	Mg 1 — 2, Mn 0 — 0,4, Cr 0 — 0,25	t	18	12	5	50
AlMg3	5	Mg 2,8 — 3,5, Mn 0 — 0,4, Cr 0 — 0,25	t	25	18	5	75
AlMg5	5	Mg 4,7 — 5,7, Mn 0 — 0,4, Cr 0 — 0,25	t	30	20	4	80
AlMn1	6	Mn 1 — 1,5	t	18	12	5	50

Druge legure vidi u JUS C.C2.100

* Aluminij i aluminijske legure za elektrotehniku vidi u 80 i 81.

N a m j e n a : 1 — žica za zakovice; 2 — šipke, profili, cijevi limovi i trake za izradu jako napregnutih konstrukcija, zakaljuje se pri sobnoj temperaturi, platirano ima veliku otpornost protiv korozije osobito protiv morske vode, za anodnu oksidaciju; 3 — šipke velike čvrstoće za obradu na automatima; 4 — šipke, profili, žica, limovi i trake, za osrednje napregnute konstrukcije, dobra kemijska postojanost; 5 — šipke, profili, žica, limovi i trake, za nešto opterećenije dijelove konstrukcija, odlična kemijska postojanost, za anodnu oksidaciju, za zavarivanje (što je veći sadržaj Mg, čvrstoća je veća, ali plastičnost i zavarivost manja); 6 — šipke, profili, žica, limovi i trake za arhitekturu, građevinarstvo i kemijsku industriju, dobra otpornost prema koroziji, za anodnu oksidaciju, za zavarivanje.

S t a n j e m a t e r i j a l a. Mehanička svojstva navedena u tablici uzeta su iz JUS C.C3.120. Oznake: kp — kaljeno prirodno dozrelo, kh — kaljeno hladno, t — tvrdo.

4. Ostali standardi JUS za aluminijske legure

C.C0.001, pojmovi, nazivi, klasifikacija. — C.C3.120, profili, šipke i žica. — C.C4.120, limovi i trake. — C.C5.120, cijevi.

5. Aluminij

Standard JUS C.C2.100 (Aluminij i al. legure za gnječenje) razlikuje 5 vrsti aluminija (ne obuhvata elektrotehnički aluminij): Al 99,8 — Al 99,7 — Al 99,5 — Al 99,3 i Al 99. Broj u oznaci znači čistoću aluminija u postocima. Ostalo su nečistoće.

Ostali standardi JUS: C.C302, profili, šipke i žica. — C.C4.020, limovi i trake. — C.C5.020, cijevi. Aluminij za elektrotehniku vidi u 80.

Bakrene legure (slitine) i bakar*

109

1. Označivanje legura prema C.D0.002

T e h n o l o š k a n a m j e n a označuje se slovnom oznakom: P — za pješčani liv, K — za kokilni liv, T — za tlačni liv, C — za centrifugalni liv, S — spajanje (lemljenje i varenje), D — za dodavanje. Bez oznake: legure za gnječenje.

O s n o v n i k e m i j s k i s a s t a v. Oznaka se sastoji od:

- kemijskog simbola za bakar
- nazivnog postotka bakra u leguri: za sve legure sa cinkom osim za crveni metal (za sve ostale legure postotak bakra se ne navodi);
- kemijskih simbola glavnih dodatnih elemenata sa nazivnim postotkom takvog elementa (postotak cinka se ne navodi).

S t a n j e m a t e r i j a l a označuje se dodatnom oznakom: v — vruće valjano, p — prešano, m — meko, ½ t — polutvrdo (jedna polovina tvrdo), t — tvrdo, tt — opružno tvrdo, n — popušteno (bez napona).

2. Legure za gnječenje

Naziv	Standard JUS	Oznaka JUS	Sastav u %	Namjena
Mjed (mesing)	C.D2.100	Cu56ZnPb	Cu 54 — 57, Pb do 2, Zn ost.	1
		Cu63Zn	Cu 62 — 65, Zn ost.	2
		Cu72Zn	Cu 69,5 — 73, Zn ost.	3
		Cu80Zn	Cu 78 — 82, Zn ost.	4
		Cu85Zn	Cu 83 — 87, Zn ost.	5
		Cu90Zn	Cu 88 — 92, Zn ost.	5
Specijalna mjed (mesing)	C.D2.101	Cu70ZnAl1Si	Cu 67 — 71, Mn 0 — 1,0, Fe 0 — 0,5, Al 0,5 — 2, Si 0,3 — 0,7, Zn ost.	6
		Cu71ZnSn	Cu 70 — 72,5, Sn 0,9 — 1,3 Zn ost.	7
		Cu76ZnAl	Cu 76 — 79, Al 1,8 — 2,3, Zn ost.	7
Kositarska bronca[1])	C.D2.102[1])	CuSn2	Sn 1 — 2, P do 0,1, Cu ost.	8
		CuSn6	Sn 5 — 7, P do 0,4, Cu ost.	9
Crveni metal	C.D2.103	CuSn6Zn6	Sn 3 — 5, Zn 5 — 7, P do 0,1, Cu ost.	10
Aluminijska bronca	C.D2.104	CuAl5	Al 6 — 8, Cu ost.	11
		CuAl10Fe3Mn	Al 9 — 11, Mn 1 — 2, Fe 2 — 4, Cu ost,	12
Silicijska bronca[2])	C.D2.106[2])	CuSi2Mn	Si 2,8 — 3,5, Mn 1 — 1,5, Cu ost.	13
Novo srebro	C.D2.107	Cu47ZnNi12	Cu 45 — 49, Ni 11 — 13, Zn ost.	14
		Cu65ZnNi12	Cu 63 — 67, Ni 11 — 13, Zn ost.	15

Ostale legure vidi u navedenim standardima JUS.

* Bakar za elektrotehniku vidi u 78.
1) Kositarska bronca za vodiče nije obuhvaćena ovim standardom.
2) Silicijska bronca za telegr.-telef. vodiče nije obuhvaćena ovim standardom.

Namjena: 1) Tanki prešani profili za elektrotehniku i zgradarstvo (neprikladno za naknadnu plastičnu obradu na hladno). 2) Glavna legura za plastično oblikovanje na hladno, kondenzatorske cijevi, žice za sita. 3) Kondenzatorske i druge cijevi za izmjenjivače topline, limovi i trake za duboko izvlačenje, limovi za platiranje čelika. 4) Valovite elastične cijevi i tuljci, metalna crijeva, manometarske cijevi, instalaterski dijelovi u elektrotehnici. 5) Instalaterski dijelovi u elektrotehnici. 6) Opruge od lima, traka i žice, elektromotori sa dvokaveznim rotorom. 7) Cijevi i tijela za kondenzatore i izmjenjivače topline. 8) Vijci i opruge koje istovremeno služe i kao električni vodiči, kondenzatorske i druge cijevi za izmjenjivače topline. 9) Opruge koje istovremeno služe i kao električni vodiči, kondenzatorske i druge cijevi za izmjenjivače topline. 9) Opruge koje istovremnno služe i kao električni vodiči, manometarske cijevi, membrane u električnim uređajima, zupčanici u mjernoj i regulacionoj tehnici, fina sita, nemagnetični dijelovi televizijskih cijevi. 10) Opruge svih vrsta, membrane u električnim uređajima. 11) Šipke, cijevi, žica, limovi i trake za opće svrhe a naročito u kemijskoj industriji: cijevi, limovi i trake za izradu opruga, naročito u elektrotehnici. 12) Prešane i vruće kovane poluge i dijelovi, profili i cijevi ventilska sjedišta, hidraulična kmmila, zupčanici, pužnici i pužna kola, ležajevi, 13) Jako napregnuti dijelovi u kemijskoj industriji; opruge koje provode električnu struju, metalna sita, dijelovi u općem strojarstvu, isparivači i filteri za dimne plinove (može se variti). 14) Predmeti zgradarstva i unutarnje arhitekture. (Dobro se kuje i preša u vrućem stanju, za naknadno hladno oblikovanje gnječenjem ne osobito podesno.) 15) Limovi za duboko izvlačenje, posuđe i ukrasni predmeti, predmeti zgradarstva i unutrašnje arhitekture. (Dobro se obrađuje u hladnom stanju.)

3. Legure za lijevanje

Naziv	Standard JUS	Sastav	Namjena
Mjed (mesing)	C.D2.300	Cu 60 — 64, Pb 2 — 3, Zn ostatak	1
Specijalna mjed	C.D2.301	Cu 58 — 60, Mn 1 — 3, Zn ostatak	2
Kositarska bronca	C.D2.302	Cu 80 — 90, Sn 10 — 20	3
Aluminijska bronca	C.D2.303	Al 9 — 10, Fe do 3, Ni do 4,5, Cu ostatak	4
Crveni liv	C.D2.304	Cu 84 — 93, Sn 4 — 10, Zn 2 — 7, Pb do 4	5
Olovna bronca	C.D2.305	Pb 25, Cu ostatak	6
Kositarsko-olovna bronca	C.D2.305	Pb 5 — 22, Sn 5 — 10, Cu ostatak	7

Oznake pojedinih legura, sastav, dozvoljene nečistoće i mehaničke osobine vidi u navedenim standardima.

Namjena (primjeri): 1) Razne armature, okovi, odlivci metalno svijetlih površina, dijelovi za elektroindustriju i za opću upotrebu. 2) Odlivci izloženi velikom naprezanju, plinskom ili vodenom pritisku. 3) Jako napregnuti dijelovi: klizni ležajevi zupčanici, pužna kola, vretena, matice i dr. 4) Odlivci otporni prema koroziji. 5) Armature za vodu i paru, ležajne školjke, tuljci, klizni ležajevi, pužna kola. 6) Jako napregnuti klizni ležajevi sa čeličnim školjkama, stapajice eksplozionih motora. 7) Odlivci od kojih se traži dobra kliznost i otpornost prema habanju; odlivci postojani prema koroziji, naročito prema nekim kiselinama.

4. Bakar

JUS C.D1.002 (Bakar) razlikuje pet klasa kvaliteta bakra: a) Cu 1 (talionički ili topionički bakar 1), oznaka CuAs, sadržaj bakra barem 99,00% (npr. za ložišta). b) Cu 2, oznaka Cu 99,25 (sadržaj bakra barem 99,25%, za bakrene polufabrikate trgovačkog kvaliteta). c) Cu 3, oznaka Cu 99,50 (za limove, trake, cijevi, žicu). d) Cu 4, oznaka Cu 99,75 (za limove, trake, cijevi, žicu). e) Elektrotehnički bakar, oznaka E.Cu, za elektrotehničke svrhe.

Bakreni poluproizvodi: šipke JUS C.D3.020; traka JUS C.D3.700; ploče, limovi i trake za opće gradivne svrhe JUS C.D4.020; lim JUS C.D4.500; cijevi JUS C.D5.020 i C.D5.500; bakrena žica[1]) JUS C.D6.020 i C.D6.500.

[1]) Nije za vođenje struje. Žicu za elektrotehniku vidi u 79.

Sastav, radna temperatura i upotreba normalnih lemova

Oznaka	Sastav %					Radna temp. °C	Upotreba
	Kositreni lem prema DIN 1707/IV.1952						
	Sn	Sb	Fe	Cu + As + Ni	Pb		
LSn 25	25	1,7	0,05	0,10	ost.	257	Samo za lemljenje u vatri.
LSn 30	30	2.0	0,06	0,12	„	249	Grubi limarski radovi.
LSn 33	33	2,2	0,07	0,14	„	242	Cink cinčani lim.
LSn 35	35	2,3	0,07	0,15	„	237	
LSn 40	40	2,7	0,08	0,16	„	223	Mjed, bijeli lim,
LSn 50	50	2,3	0,09	0,18	„	200	Bakar i meki čelični lim.
LSn 60	60	3,2	0,10	0,20	„	185	Pokositrena žica za elektrotehn. svrhe.
LSn 90	90	1,3	0,10	0,20	„	219	Samo iz zdravstvenih razloga.

Mjedeni (mesingani) **lem** prema JUS C.D2.306/1957

Oznaka JUS	Sastav u %			Radna temperatura °C	Specifična masa kg/dm³	Upotreba
	Cu	Zn	Si			
S.Cu42Zn	41 — 43	min. 56		845	8,1	1
S.Cu48Zn	47 — 49	„ 50		870	8,2	2
S.Cu54Zn	53 — 55	„ 44	0,2 — 0,4	890	8,3	2
S.Cu60Zn	59 — 61	„ 38	„	900	8,4	3
S.Cu63Zn	62 — 64	„ 35	„	910	8,4	3
S.Cu85Zn	84 — 86	„ 13	„	1020	8,7	4

U p o t r e b a : 1) Predmeti od nikla i bakra. 2) Predmeti od bakra i sivog liva. 3) Cjevovodi, dijelovi vozila, predmeti od bakra, čelika i sivog liva. 4) Predmeti od bakra, čelika i sivog liva.

Srebrni lem prema JUS C.D2.307/1957

Oznaka JUS	Sastav u %						Radna temperatura °C	Upotreba
	Ag	Cd	Cu	Zn	Mn	Ni		
S.Cu55ZnAg8	7— 9		do 55	ostatak			870	1
S.Cu52ZnAg12	11—13		do 52	„			830	2
S.Cu52ZnAg12Cd	11—13	5— 9	do 52	„			800	3
S.Cu49ZnAg15Cd	14—16	8—12	do 49	„			770	4
S.Cu43ZnAg20Cd	19—21	13—17	do 43	„			750	5
S.Cu43ZnAg25	24—26		do 43	„			780	6
S.Cu42ZnAg25Cd	24—26	12—16	do 42	„			730	7
S.Cu40ZnAg27Mn	24—28	[illegible]	do 40	„	do 10	do 6	840	8

U p o t r e b a : 1) Veliko lemljenje na debelim dijelovima od željeza, čelika bakra ili bakrenih legura sa barem 63% Cu. 2) Veliko lemljenje na srednje debelim limovima, žici, cijevima od željeza i čelika. Debeli dijelovi od bakra i bakrenih legura sa barem 56% Cu. 3) Malo lemljenje na debelim dijelovima od bakra i bakrenih legura. Lemljenje bakra i bakrenih legura sa čelikom. 4) Malo lemljenje na platiranim čeličnim limovima, Srednje debeli dijelovi od bakra i bakrenih legura. 5) Malo lemljenje na tankim platiranim limovima međusobno ili sa čelikom. 6) Tanki limovi, žica i cijevi od željeza i čelika, npr. za finu mehaniku. Veliko lemljenje na debelim i srednje debelim dijelovima od bakra i bakrenih legura kad je potrebna velika vatrootpornost lema. 7) Malo lemljenje na srednje debelim i tankim dijelovima od bakra i bakrenih legura. 8) Veliko i malo lemljenje na debelim i tankim dijelovima od kemijski postojanih čelika ili tvrdih metala.

111

Termička klasifikacija izolacionih materijala
prema JUS N.A8.005/1958 i IEC publikaciji br. 85 iz 1957. godine

Izolacioni materijali	Materijali za vezivanje, impregnaciju ili premaz* upotrebljeni u proizvodnji izolacionih materijala	Materijali za impregnaciju* u izradi izoliranih dijelova (npr. svitaka ili namota)
Klasa Y (prije klasa 0) — granična temperatura 90° C		
U ovoj klasi obuhvaćeni su samo neimpregnirani materijali: pamuk prirodna svila, vlakna regenerirane celuloze (viskozna svila), vlakna celuloznog acetata, poliamidna vlakna (npr. najlon, perlon), papir i njegovi proizvodi, kartonit običan (prešpan), kartonit oplemenjen (npr. transformerbord, antivolton), lederoid, vulkanizirana vlakna (vulkanfiber), drvo, anilin-formaldehidne smole, urea-formaldehidne (karbamidne) smole	Nikakvi	Nepotrebni
Poliakrilati**, polietilen (politen)**, polistiren (polistirol)**, polivinilklorid s omekšivačem (plastifikatorom) ili bez njega, vulkanizirana prirodna guma		
Klasa A — granična temperatura 105° C		
Impregnirani materijali ili materijali zaronjeni u tekući dielektrik (npr. ulje): Pamuk, prirodna svila, vlakna regenerirane celuloze (viskozna svila), vlakna celuloznog acetata, poliamidna vlakna (npr. najlon, perlon), papir i njegovi proizvodi, kartonit običan (prešpan), kartonit oplemenjen (npr. transformerbord, antivolton), lederoid, vulkanizirana vlakna (vulkanfiber), drvo	Nikakvi	Sušivi uljni lakovi od prirodnih smola; šelak, kopal i druge prirodne smole; otopine ili suspenzije celuloznih etera Materijali navedeni u višim tehničkim klasama Izolaciono ulje i sintetički tekući dielektrici
Lakirani (uljni) tekstili od pamuka, prirodne svile, regenerirane celuloze, celuloznog acetata ili poliamidnih vlakana (npr. uljno platno, uljna svila); lakirani papir (uljni papir)	Sušivi uljni lakovi od prirodnih ili sintetičkih smola	
Slojevito (lamelirano) drvo	Fenol-formaldehidna smola	

* Vidi primjedbu 3 na kraju tablice.
** Zbog omekšanja radna temperatura može biti ograničena i ispod 90° C.

Termička klasifikacija izolacionih materijala (nastavak)

Izolacioni materijali	Materijali za vezivanje, impregnaciju ili premaz* upotrebljeni u proizvodnji izolacionih materijala	Materijali za impregnaciju* u izradi izoliranih dijelova (npr. svitaka ili namota)
Klasa A — granična temperatura 105° C (nastavak)		
Folije od celuloznog acetata ili acetobutirata, poliesterne smole poprečno ulančane; emajli za žicu: uljni žični lak i poliamidni žični lak	Nikakvi	Kao na strani 202 za klasu A
Sintetičke gume: polikloropren-elastomeri, butadien-akrilonitril-elastomeri (npr. perbunan)		
Klasa E — granična temperatura 120° C		
Sintetički žični lakovi (emajli za žicu) od polivinilformala (polivinil-acetata), poliuretana (poliizocianata ili epoksida (npr. lak-žice: formeks, rupmeks, durofleks, sinobel, sinel)	Nikakvi	Uljno modificirani asfaltni i uljno modificirani sintetički smolni lakovi; poliesterne smole poprečno ulančane; epoksidne smole (etoksilin, npr. araldit) Materijali navedeni u višim termičkim klasama
Prešani komadi s celuloznim punilima (npr. bakelit), slojeviti prešani komadi s pamučnom tkaninom (npr. tekstolit, kanvasit, novoteks), slojeviti prešani komadi s papirom (npr. delit, pertinaks, repelit)	Sintetičke smole od melamin-formaldehida, fenol-formaldehida (fenol-plasta) i fenol-furfurala	
Poliesterne smole poprečno ulančane, folije od celuloznog triacetata (i u kombinaciji s prikladnim nosiocem), folije ili vlakna od polietilen-teraftalata (terilen) (i u kombinaciji s prikladnim nosiocem)	Nikakvi	
Lakirana platna od polietilen-teraftalata (terilen)	Uljno modificirani alkidni lakovi	
Klasa B — granična temperatura 130° C		
Staklena vlakna, azbest	Nikakvi	Uljno modificirani asfaltni i uljno modificirani sintetički smolni lakovi; poliesterne smole poprečno ulančane; epoksidne smole (etoksilin, npr. araldit). (Ako je mehaničko naprezanje veliko, mogu gore navedeni materijali biti i nepodesni, pa bi mogle biti potrebne nemodificirane fenolne smole). Materijali navedeni u višim termičkim klasama
Lakirana staklena tkanina, lakirani azbest	Uljno modificirani lakovi sintetičkih smola	
Proizvodi od tinjca (liskuna) s nosiocem ili bez njega (npr. mikafolij, mikaniti, mika-vrpce, samika-materijali)	Šelak, asfaltne ili bitumenske smjese, uljno modificirane sintetičke smole, alkidne smole (npr. gliptal), poliesterne smole poprečno ulančane, epoksidne smole (etoksilin, npr. araldit)	

* Vidi primjedbu 3 na kraju tablice.

Termička klasifikacija izolacionih materijala (nastavak)

Izolacioni materijali	Materijali za vezivanje, impregnaciju ili premaz* upotrebljeni u proizvodnji izolacionih materijala	Materijali za impregnaciju* u izradi izoliranih dijelova (npr. svitaka ili namota)
Klasa B — granična temperatura 130° C (nastavak)		
Slojeviti materijali od staklenih vlakana, azbestni slojeviti materijali, prešani komadi s mineralnim punilima	Sintetičke smole (duroplasti), i to melamin-formaldehid i fenol-formaldehid	Kao na strani 203 za klasu B
Prešani komadi s mineralnim punilima	Poliesterne smole poprečno ulančane	
Polimonoklorotrifluoretilen	Nikakvi	
Klasa F — granična temperatura 155° C		
Staklena vlakna, azbest	Nikakvi	Smole alkidne (npr. gliptal), epoksidne (etoksilin), poliesterne poprečno ulančane, poliuretanske — sve s povećanom termičkom postojanošću Silikon-alkidne i silikon-fenolne smole Materijali navedeni u višim tehničkim klasama
Lakirana staklena tkanina, lakirani azbest, proizvodi od tinjca (liskuna) s nosiocem ili bez njega	Smole alkidne (npr. gliptal), epoksidne (etoksilin), poliesterne poprečno ulančane, poliuretanske — sve s povećanom termičkom postojanošću Silikon-alkidne smole	
Klasa H — granična temperatura 180° C (eventualno potrebni nosilac treba da bude neorganski)		
Staklena vlakna, azbest	Nikakvi	Prikladne silikonske smole
Lakirana staklena tkanina, lakirani azbest	Prikladne silikonske smole, silikon-elastomeri (silikonske gume)	
Proizvodi od tinjca (liskuna) s nosiocem ili bez njega, slojeviti materijali od staklene tkanine, azbestni slojeviti materijali	Prikladne silikonske smole	
Silikon-elastomeri (silikonske gume)	Nikakvi	

* Vidi primjedbu 3 na kraju tablice.

Termička klasifikacija izolacionih materijala (nastavak)

Izolacioni materijali	Materijali za vezivanje, impregnaciju ili premaz* upotrebljeni u proizvodnji izolacionih materijala	Materijali za impregnaciju* u izradi izoliranih dijelova (npr. svitaka ili namota)
Klasa C — granična temperatura iznad 180⁰ C		
Tinjac (liskun, mika), porculan i drugi keramički materijali, staklo, kvarc. (Primjedba: Maksimalna radna temperatura može biti ograničena fizikalnim, kemijskim i električkim svojstvima na radnoj temperaturi)	Nikakvi	Neorganska veziva kao što su staklo i cement
Preparirana staklena tkanina, preparirani azbest, proizvodi od tinjca	Silikonske smole povećane termičke postojanosti (postojanost iznad 225⁰ C ograničena)	Silikonske smole povećane termičke postojanosti (postojanost iznad 225⁰ C ograničena)
Politetrafluoretilen (teflon) (postojanost iznad 250⁰ C ograničena)	Nikakvi	

Primjedbe: 1. JUS N.A8.005/1958 odgovara publikaciji IEC br. 85 iz 1957. godine: »Preporuke za klasifikaciju materijala predviđenih za izolaciju strojeva i aparata s obzirom na njihovu termičku postojanost u pogonu«.

2. Standardi drugih zemalja. Britanski standard B.S. 2757/1956 praktički je identičan s preporukama IEC. Američki standard AIEE No. 1 sadrži samo klase 0, A, B, H i C. Njemačka klasifikacija izolacionih materijala sadržana je u propisima VDE za el. strojeve 0530/3.59, za transformatore 0532/1.59, te za strojeve i transformatore za vuču (0535/4.56). Ova je klasifikacija također usklađena s preporukama IEC, ali ima izvjesnih odstupanja. Najvažnije je da za uljne transformatore postoji još i klasa A_0 s graničnom temperaturom 115⁰ C u koju su uvršteni ovi materijali: pamuk, svila, papir i sl. te žični lak.

3. Materijali navedeni u drugom stupcu su oni koje upotrebljava proizvođač izolacionih materijala navedenih u prvom stupcu. Materijali navedeni u trećem stupcu su oni koje upotrebljava elektrotehnička tvornica u izradi namota i drugih izoliranih dijelova. Najviša radna temperatura materijala za vezivanje, impregnaciju ili premaz može često biti ograničena i drugim faktorima, a ne samo termičkom postojanošću. Tako na primjer, epoksidne i poliesterne smole mogu kod velikog mehaničkog naprezanja često biti ograničene na temperaturu klase A.

4. Granične temperature navedene u tablici su temperature do kojih se smije zagrijati najtoplija tačka stroja ili aparata. Obično se u praksi temperatura najtoplije tačke ne može mjeriti, pa standardi za strojeve, transformatore i druge aparate propisuju nešto niže mjerljive najviše temperature. Zapravo ti standardi propisuju dozvoljena povišenja temperature (nadtemperatura, ugrijanje) s obzirom na neku najvišu temperaturu okoline ili rashladnog sredstva (za el. strojeve vidi u 125, a za transformatore u 160a, b i c).

5. Granične temperature predviđene su za »uobičajene radne uvjete«, gdje se očekuje: a) da temperatura okoline odnosno rashladnog sredstva neće dugo zadržati maksimalnu vrijednost; b) da ciklusi opterećenja budu općenito takvi da prosječno opterećenje za razdoblje od nekoliko dana ili nekoliko mjeseci bude znatno niže od nazivne struje stroja ili transformatora; c) da preopterećenja budu umjerena i kratkotrajna.

6. Materijali u prvom stupcu štampani većim slovima glavni su materijali, a oni štampani sitnim slovima dopunski materijali. Ove posljednje treba prema JUS-u i preporukama IEC još upotrebljavati s izvjesnim oprezom u toj klasi jer su iskustva s njima ograničena. Ipak na primjer B.S. 2757/1956 ne pravi nikakvu razliku između glavnih i dopunskih materijala, a isto tako ni VDE.

112

Izolaciono ulje

za transformatore prema JUS B.H3.461/1958 za sklopke prema JUS B.H3.462/1958, vidi i VDE 0370/9.61 (Ispitivanje prema JUS B.H8.230)

a) Čistoća: Ulje promatrano kroz sloj od 10 cm mora biti posve bistro bez tragova mutnila i bez stranih primjesa.

b) Gustoća (specifična masa) pri 20⁰ C najviše 0,900 kg/dm³.

c) Viskoznost: Normalno transformatorsko ulje pri —30⁰ C najviše 3800 cSt (500 E⁰), a pri +20⁰ C najviše 45 cSt (6 E⁰). Ulje za sklopke pri —30⁰ C: najviše 1220 cSt (160 E⁰). VDE dopušta za transformatorsko ulje najviše 1800 cSt pri —30⁰ C odn. 30 cSt pri 20⁰ C, a za ulje za sklopke najviše 1200 cSt pri —30⁰ C.

d) Plamište u otvorenom tignju: transformatorskog ulja barem 145⁰ C, a ulja za sklopke barem 130⁰ C.

e) Sadržaj pepela: najviše 0,01% (VDE dopušta kod novog ulja najviše 0,005%).

f) Neutralizacioni broj: najviše 0,05 mg KOH/g ulja.

g) Saponifikacioni broj: Kod novog transformatorskog ulja dobavljenog u cisternama ili željeznim bačvama najviše 0,15, kod ulja dobavljenog u transformatoru najviše 0,20 mg KOH/g ulja. Kod novog ulja za sklopke (pa i dobavljenog u sklopki) najviše 0,15 mg KOH/g ulja.

h) Kemijska stabilnost (starenje): Ispituje se metodom Baadera (DIN 51554/1951). Nakon starenja od 48 sati (ulje se pri 95⁰ C miješa uz pristup zraka i u prisutnosti bakrene spirale kao katalizatora) ulje prethodno ohlađeno) mora biti posve bistro i bez ikakvog taloga. Saponifikacioni broj transformatorskog ulja dobavljenog u cisternama ili željeznim bačvama smije biti najviše 0,20, a ulja dobavljenog u transformatoru najviše 0,25 mg KOH/g; saponifikacioni broj ulja za sklopke smije iznositi do 0,30 mg KOH/g. VDE predviđa pokus starenja od 28 dana (osnovno ispitivanje) i od 3 dana (ispitivanje za preuzimanje).

i) Električka probojna čvrstoća: Ispituje se u aparatu sa tačno definiranim elektrodama, između kojih je razmak 2,5 mm (mjerodavna je metoda opisana u VDE 0370). Probojna čvrstoća treba da iznosi:

1. Novog transf. ulja spremljenog za punjenje barem 200 kV/cm.
2. Novog ulja dobavljenog u transformatoru
   — nazivnog napona do 35 kV . . . . barem 80 kV/cm
   — nazivnog napona iznad 35 do 110 kV . barem 120 kV/cm
   — nazivnog napona iznad 110 do 220 kV . barem 140 kV/cm[1])
3. Starog ulja izvađenog iz transformatora u pogonu: JUS ne sadrži nikakve vrijednosti, VDE propisuje vrijednosti navedene pod 2.
4. Novog ulja za sklopke spremljenog za punjenje barem 120 kV/cm.
5. Novog ulja dobavljenog u sklopki
   — nazivnog napona do 35 kV . . . . barem 40 kV/cm
   — nazivnog napona iznad 35 do 110 kV . barem 80 kV/cm
   VDE traži 80 kV/cm za naz. nap. do 30 kV, 100 kV/cm za 30 do 60 kV, 120 kV/cm iznad 60 kV.
6. Za ulje iz sklopke u pogonu: JUS —. VDE traži 40, 60 odn. 80 kV/cm za nazivne napone do 30, 30 do 60, odn. iznad 60 kV.

j) Specifična toplina (nema u standardima): 0,46 kcal/kg. step.

---

[1]) Ova je vrijednost uzeta iz VDE (JUS nema podataka).

Keramički izolacioni materijali

113 a

Svojstva	Tvrdi porculan tokaren lijevan	Tvrdi porculan prešan	Kamenina	Nisko pečene mase	Steatit	Specijalni steatit
Uzimanje vode %, težinski	0	0,1 — 0,5	0,4 — 0,8	0,1 — 0,5	0	0
Specifična masa kg/dm³	2,3 — 2,5	2,3 — 2,5	2,5	2,8	2,6 — 2,8	2,6 — 2,8
Zatezna čvrstoća, glazirano kp/cm²	300 — 500	—	—	—	600	600
Zatezna čvrstoća, neglazirano „	250 — 350	—	—	—	450	450
Tlačna čvrstoća, glazirano kp/cm²	4500 — 5500	3000	—	—	8500	9000
Tlačna čvrstoća, neglazirano „	4000 — 4500	2500	2500	8000	8500	9000
Čvrstoća na savijanje, glazirano kp/cm²	600 — 1000	—	—	—	1200	1400
Čvrstoća na savijanje, neglazirano „	400 — 700	300	400	1000	1200	1400
Žilavost kpcm/cm²	1,8 — 2,2	1,3	1,7	3	3	4
Koef. lin. rastezanja (1/°C) 10^{-6}	3,5 — 5	4	4,7	6,8	8	7
Spec. toplina kcal/kg. °C	0,19 — 0,21	0,20	0,20	0,20	0,21	0,21
Topl. vodljivost između 20 i 100 °C kcal/h. m. °C	1,0 — 1,4	1,2	1,3	1,6	2,2	2,2
Toplinska čvrstoća (približno) °C	1670	—	1200	1200	1460	1460
Probojna čvrstoća kV/cm	300 — 350	—	—	—	200	300
Relativna dielektričnost	6	—	—	—	6	6
Faktor dielektričnih gubitaka pri 50 Hz (tg δ)·10^{-3}	17 — 25	—	—	—	2,5 — 3	1 — 1,5
Otpor izolacije pri 20°C Ωcm	10^{11} — 10^{12}	—	—	—	$5 \cdot 10^{11}$	10^{12}
Otpor izolacije pri 600°C „	10^{4} — 10^{5}	$5 \cdot 10^{4}$	10^{5}	10^{5}	10^{7}	10^{7}

U p o t r e b a : Tvrdi porculan tokaren i lijevan: za izolatore i izolirane dijelove visokog i niskog napona pa i velikih dimenzija. — Tvrdi porculan prešan i kamenina: za izolatore i izol. dijelove niskog napona. — Nisko pečene mase: za izol. dijelove niskog napona. — Steatit: Izolatori i izolacioni dijelovi za visoki i niski napon, osobito za visokofrekventnu tehniku; mali izolacioni dijelovi za toplinske sprave. — Specijalni steatit: Kao steatit, a osim toga specijalno za v. f. - kondenzatore.

P r i m j e d b a : Vrijednosti iz tablice uzete su iz njemačke norme DIN 40 685/II.57, a trebalo bi, prema svojedobnom zaključku, da budu preuzete i u jugosl. standard. U tablici su navedene granice samo za tvrdi porculan tokaren ili lijevan, dok je za ostale materijale navedena samo jedna vrijednost: za mehanička svojstva, probojnu čvrstoću i otpor izolacije najniža vrijednost, a za toplinska svojstva srednja vrijednost. Vrijednosti za topl. čvrstoću za kameninu i nisko pečene mase uzete su iz ÖNORM E 7226 (jer DIN nema podataka).

Silikati

113 b

Svojstva	Obično (natron) staklo	Zakaljeno staklo	Pajreks (pyrex, borosilikatno staklo)	Krarcno staklo
Specifična masa kg/dm³	2,4 — 2,8	2,5	2,25	2,18
Zatezna čvrstoća kp/mm²	1,5 — 6	6 — 8		7 — 9
Tlačna čvrstoća kp/mm²	15 — 50	25 — 200		160 — 200
Specifična toplina kcal/kg °C	0,2	0,2	0,2	0,17
Toplinska vodljivost W/m °C	1,05	1,05		1,4[1] — 2,7[2]
Koef. topl. rastezanja (1/°C) . 10^{-6}	8 — 13	6	2,2 — 3,2	0,55
Najviša radna temperatura °C	110 — 220		230	do 800
Specif. električni otpor Ω cm	10^{13}	10^{13}	10^{14}	10^{17}
Probojna čvrstoća kV/mm	10 — 30	do 50	14 — 35	20 — 26[3]
Relativna dielektričnost	6	6	4,5	3,5 — 3,8
Faktor gubitaka tg δ . 10^{-3}	1 — 11	60	4,6	20 — 38[4]

[1]) Pri 100° C. — [2]) Pri 1000° C. — [3]) Pri 20° C i debljini 1,5 mm. (Pri 500° C probojna čvrstoća spadne na jednu šestinu do osminu.). — [4]) Pri 20° C. Pri 1000° C 50 — 60.)

114 Tvrdi papir (hartinaks, izokart)

Karakteristike prema DIN 7735/9.59 i 7736/9.59, ispitivanje prema VDE 0318/10.59.

To je slojeviti plastični materijal na bazi natron-papira prešan sa fenolnom ili fenol-formaldehidnom smolom. Proizvodi

— hartinaks (proizvođač »11 oktomvri«, Prilep

— izokart (izocart, proizvođač »Tesnilka«, Medvode)

— pertinaks, trolitaks, delit, repelit, getinaks i dr. (inozemni proizvodi).

a) Vrsti

Oznaka DIN nova	HP 2061	HP 2061.3	HP 2061.5	HP 2061.6	HP 2061.8
Oznaka DIN stara	HP I	—	HP II	HP III	HP IV
»Tesnilka«, Medvode	Izocart 2061	—	Izocart 2061.5	Izocart 2061.6	—
»11 oktomvri«, Prilep	Hartinaks 101	Hartinaks 102	Hartinaks 104	Hartinaks 103	Hartinaks 105

Osim toga tvornica »11. oktomvri«, Prilep proizvodi i melopert, građen kao hartinaks, ali su mu površine obložene slojem na bazi melaminformaldehidne smole.

b) Svojstva

Vrsta	Čvrstoća na savijanje neobrađeno kp/mm²	Čvrstoća na savijanje obrađeno kp/mm²	Zatezna čvrstoća kp/mm²	Tlačna čvrstoća kp/mm²	Podnosivi napon 5 min, 50 Hz A kV	B kV	C kV	D kV	Otpornost na toplinu °C	Otpornost prema Martensu °C	Upijanje vode*** %
HP 2061	15	13	12	15	—	—	—	—	130*	125	8
HP 2061.3	13	10	12	10	30	20	50	20	130*	125	6
HP 2061.5	13	10	10	10	40	25	60	40	130*	125	8
HP 2061.6	13	10	10	10	30	20	50	20	150**	125	6
HP 2062.8	8	7	7	10	25	10	40	15	150**	125	1,2
Melopert	13	10	10	15	30	20	50	20	130*	130	5

A — paralelno sa slojevima pri 20° C; B — isto pri 90° C. Ispituje se nakon što je uzorak bio izvrgnut temperaturi 70° C kroz 4 sata.

Specifična masa tvrdog papira iznosi 1,3 do 1,4 kg/dm³, spec. toplina 0,35 kcal/kg · step., a toplinska vodljivost oko 0,25 kcal/m · h · step.

* Vrijeme ispitivanja 4 sata.
** Vrijeme ispitivanja 10 min.
*** Nakon 4 dana.

c) Upotreba

HP 2061 (konstrukcioni hartinaks, izokart klase I): za konstrukcione elemente električnih aparata i uređaja gdje se ne postavljaju veliki zahtjevi na izolaciju. Nije za vlažna mjesta.

HP 2061.3 (hartinaks za štancanje): primarno za izradu štancanih dijelova u radioindustriji i telekomunikacionoj tehnici. Nije za vlažna mjesta.

HP 2061.5 (visokonaponski hartinaks, izokart klase II): za upotrebu u aparatima i uređajima visokog napona.

HP 2061.6 (niskofrekventni hartinaks, izokart klase III): za elemente niskofrekventnih dijelova radio i televizijskih uređaja, za telefonske uređaje, za aparate visokog napona koji ne dolaze u dodir s transformatorskim uljem.

HP 2061.8 (visokofrekventni super-hartinaks): za elemente visokofrekventne tehnike.

Melopert: za dijelove aparata i uređaja visokog napona, npr. za transformatore i učinske sklopke i svugdje gdje dolazi do el. luka ili do stvaranja površinskih struja.

Kartonit (prešpan, pressboard, stlačena ljepenka) 115

prema DIN 7733/10.58* i VDE 0315/10.58

a) Oznake

Oznaka DIN	Vrst kartonita	Oblik	Površina	Spec. masa kg/dm³	Vlaga %/₀ tež.
Psp 3010 Psp 3011 Psp 3012	strojni	ploče	neizglačana jednostr. izglačana obostr. izglačana	1,20 - 1,30	8
Psp 3020 Psp 3021 Psp 3022	strojni	role	neizglačana jednostr. izglačana obostr. izglačana	1,00 - 1,20	8
Psp 3030 Psp 3032	utorni	ploče	neizglačana obostr. izglačana	1,25 - 1,35	8
Psp 3040 Psp 3042	utorni	role	neizglačana obostr. izglačana	1,00 - 1,20	8
Psp 3050	transformatorski	ploče	neizglačana	1,20 - 1,35	8
Psp 3060	konderzatorski	ploče	neizglačana	1,25 - 1,35	8

* Novi DIN 7733/6.62 sadrži i tipove Psp 3051, Psp 3052 i Psp 3055.

b) Mehanička i električka svojstva (minimalne vrijednosti prema DIN)

Oznaka DIN	Zatezna čvrstoća kp/mm² za pojedine debljine u mm				Probojna čvrstoća u kV/mm pri 20° C za pojedine debljine u mm				
	(neprevijeno)*				neprevijeno				previjeno
	uzduž		poprijeko		0,1 do 0,25	>0,25 do 1	>1 do 1,5	>1,5 do 2,5	do 0,5
	do 1	>1 do 5	do 1	>1 do 5					
Psp 3010	6	7	3	4	10	11	10	9	6,5
Psp 3020	6,5	—	3,5	—	8	10	—	—	6
Psp 3030	8,5	9	4	4,3	11	13	12	11	8
Psp 3040	7	—	4	—	8	10	—	—	7
Psp 3050	7	8	5	5,5	10,5	12	11	10	—
Psp 3060	8	8,5	4	4,5	10,5	12	11	10	6,5

I ostali kartoniti pojedine grupe imaju jednaka svojstva kao i predstavnici te grupe u gornjoj tablici (npr. Psp 3011 kao Psp 3010).

c) Praktične vrijedosti probojne čvrstoće u kV dobro isušenog kartonika

Debljina mm		0,15	0,25	0,50	1	2	3	5
Kartonit u pločama	na zraku	1,5	2,5	5	10	18	27	40
Kartonit u pločama	u ulju	8	12	23	37	56	—	—
Kartonit oplemenjen	na zraku	1,6	3	6,6	13	23	35	52
Kartonit u rolama	na zraku	1,5	2,7	6,6	13	—	—	—

116

Termoplastici

Neki trgovački nazivi termoplastičnih materijala

1. Celuloza acetilna: cellit, cellon, ecarit, trolit W.
2. Celuloza acetobutiratna: acetate, ampacet, cellidor, hercose C, tenite.
3. Celuloza hidratna: cellophan, cupraphan, heliozell, transparit, zellglas, zellhorn.
4. Celuloza triacetatna: geaphan, ethofoil 10, triafol.
5. Epoksidne smole: araldit, Albert S 124 G, BASF EK 269/1, Bayer LK 2009, epicote, epon, Henkel E 368, polycast, seurol, stycast.
6. Fenol-formaldehid: bakelit, resinol, trolitan.
7. Poliamid: najlon (nylon), akulon, durethan, grilon, igamid B, lyafol, silon, ultramid, zytel.
8. Polibutadien (tvrda guma): buna S, buna SS, igetex 8, luzerne, neoprene, perbunan, rub-erok, stoko-hard.
9. Poliesterne smole: cristic-smole, hetron, laminac, leguvale, palatale, paraplex, plascon, polyleite.
10. Polietilen: alaton, alkathen, DE 2400, DYNH-3, hostalen, lupolen, monsanto-polyethylen, petrothen, polythen, trolen, super-dylan.

* Zateznu čvrstoću za previjeni kartonit i izduženje vidi u DIN 7733.

11. Poliizobutilen: oppanol B 200, oppanol 0.
12. Polikloropren: neoprene, sowprene.
13. Poliklortrifluoretilen: hostaflon, KEL-F, PCTFE.
14. Polimerizati miješani: astralon A, astralit, coroplast, decelith, mipolam MP, thelon, trovidur MP.
15. Polimetakrilat: acronal, diakon, lucite, perspex, plexiglas, plexigum, resarit.
16. Polistirol: dow styrex, dow styron, polystyrol RMD 4001-C11, styrofol, styroflex, styropor, TGD, TMD, trolitul, vestyron; cycolac, novodur.
17. Polietrafluoretilen: chemelec 300, fluon, fluoroflex-T, gering-TRW, PTFE, teflon.
18. Polivinilkarbazol: luvican, polextron, trolitul LU.
19. Polivinilklorid: juvidur, juvifleks, rilsan B Mn 0, vinidur, viniflex.
20. Silikonska guma: silopren, silastic.

Svojstva termoplastičnih materijala ne ovise samo o osnovnom materijalu od kojega su građeni, već i o načinu proizvodnje, pa o punilima, vezivanju i impregnaciji. Stoga su općenite tablice s mehaničkim, električnim i termičkim svojstvima termoplastičnih materijala u praksi slabo upotrebljive.

Proizvodi od tinjca (liskuna) **117**

Naziv	Vezivo pribl. %	Spec. masa kg/dm³	Maks. radna temper. °C	Probojna čvrstoća u kV za debljinu u mm			
				0,2	0,5	1,0	2,0
Form-mikanit*	25	2,0	130			35	
Fleksibilni mikanit*	25	2,0	130	7,8	14	21	
Termo mikanit*	3	2,5	500	7	15,3		
Kolektor-mikanit	3		130		13	25	42
Šelak-mikafolij (smeđ)*	7	1	130			30	
Asfalt-mikafolij (crn)			150			30	
Form-samikanit	25	2,0	70	11	24	36	
Fleksibilni samikanit	20	1,8		9	17,5		
Termo samikanit	2	2,2	700	12,5	22		
Kolektor-samikanit	3	2,2	130	12	24	37	
Šelak-samikafolij	3	2,0	130		20	35	50
Asfalt-samikafolij	4	2,5	150		20	35	50
Mikaleks	34	2,6	450			20	
Mikaterm	25	2	600			6	

Mika (mica) — engleski (a danas i internacionalni) naziv za tinjac (liskun). Mikanit — prirodni tinjac sa šelakom ili gliptalom kao vezivom prešan u ploče. Mikafolij — na tanki, čvrsti celulozni papir nalijepe se pomoću veziva folije tinjca. Samika — prirodni tinjac se cijepa pomoću kemijsko-termičkih procesa i pretvara u kašastu masu iz koje se dobivaju samika-folije slično kao što se papir dobiva iz pulpe. Iz samika-folija se dobiva samikanit i samikafolij slično kao što se pomoću folija tinjca dobiva mikanit i mikafolij. Mikaleks — mljeveni tinjac preša se pod tlakom i vrućinom zajedno sa mineralima koji tvore staklo (olovnim boratom) u homogene ploče. Mikaterm se dobiva slično kao mikaleks (upotreba za komore za iskrišta).

* Jugoslavenski proizvođač: Fabrika za elektroizolaciju »11 oktomvri«, Prilep.

118 a

Kombinirana izolacija u trakama ili pločama**

Prosječne vrijednosti za probojnu čvrstoću

Sastav	Debljina mm	Probojna čvrstoća kV/mm ravno	Probojna čvrstoća kV/mm previjeno
Uljna tkanina — prešpan (kartonit)	0,28 — 0,35	30	16
Uljna tkanina dijagonalno-transformerbord	0,35 — 0,4	36	26
Uljna tkanina dijagonalno-transformerbord	0,45 — 0,5	30	21
Uljna tkan. dijag.-transf. bord-uljna tk. d.	0,4 — 0,5	32	24
Uljna tkan. dijag.-transf. bord-uljna tk. d.	0,5 — 0,6	30	20
Prešpan-uljna tkanina dijagonalno-prešpan	0,45 — 0,55	30	26
Prešpan-uljna tkanina dijagonalno-prešpan	0,6 — 0,7	26	22
Triacetatna folija-prešpan	0,25	30	18
Triacetatna folija-prešpan	0,40	23	14
Triacetatna folija - prešpan - triacetatna folija	0,50	24	17
Prešpan - triacetatna folija - prešpan	0,25 — 0,6	24	13
Tinjac (mika) - uljna svila	0,15 — 0,20	40	
Tinjac (mika) - transformerbord	0,18 — 0,25	40	
Tinjac (mika) - transformerbord	0,30 — 0,40	30	
Tinjac (mika) - lederoid	0,35 — 0,40	35	
Tinjac (mika) - prešpan	0,20 — 0,25	32	23
Tinjac (mika) - prešpan	0,55 — 0,65	22	15
Mikanit - papir	0,15	30	
Mikanit - papir	0,60	20	
Tinjac (mika) - staklena svila	0,15 — 0,20	10	
Tinjac (mika) - azbest	0,50	22	

118 b

Podaci o nekim izolacionim materijalima

(Srednje vrijednosti)

Naziv	Specifična težina pri 20° C kg/dm³	Toplinska vodljivost W/m·step.	Probojna čvrstoća kV/mm	Relativna dielektričnost	Kut gubitaka pri 50 Hz tg δ·10³
Zrak pri 760 mmHg	1,2049	0,0251	2,1	1,0006	1
Izolaciono ulje	0,90	0,13-0,16	20-30[1])	2,2-2,4	1
Piralen[2])	1,56		min. 20	4,0	
Azbestni papir	1,2	2,5	2		
Transformatorski papir neimpregniran	0,7-0,75	0,15	10-14	1,8-2,6	2-3
Kabelski papir u ulju		0,17	100	4,0	3
Transformerboard	1,0		5[2])		
Fiber	1,2-1,4	0,28	3	4	
Polibutadien	0,92			2,6-2,8	7-8
Plexiglas	1,18	0,19	50	3,0-3,6	20-70
Plexigum	1,18	0,19	30	3,4-3,7	65
Polistirol (trolitul)	1,05	0,16	20-50	2,3-2,8	0,1-0,6
PVC — mekan	1,30	0,15-0,29	40-75	3-6	20-110
PVC — tvrd	1,38	0,16	40-50	3,4-4	15-20
Polythen, teflon	1,15		30	2,3	0,2
Epoksid (avaldit)	1,1-1,2		35	3,7	7-9
Bakelit	2,8	0,06	10	4,5-8	0,01

** Na primjer za izolaciju utora električnih strojeva.

[1]) Vidi i 112.

[2]) Piralen je sintetički, nezapaljivi tekući dielektrik (ulje) na bazi klornih ugljikovodika, a služi za hlađenje transformatora i za druge svrhe. Druga svojstva: P Viskoznost na 50° C 1,3° E, spec. toplina 0,26 kcal/kg-step. Ostali trgovački nazivi sličnih materijala: askarel, aroclor, chlorextol, pyranol, pyralene, inerteen, clophen, aroclor, aceclor i dr.

Opeka, crijep i građevinske ploče i pločice

119

1. **Opeka (cigla)** (vidi JUS B.D1.011/1957).

Format normalne opeke (250 ± 8) × (120 ± 5) × (65 ± 3) mm, težina 2,7 – 3 kg; težina klinker opeke[1]) 3,8 – 4 kg.

Stari format opeke (danas se više ne proizvodi): 290 × 140 × 65 mm.

Marke normalne opeke (prema JUS)

Marka opeke	Čvrstoća na pritisak kp/cm²		Čvrstoća na savijanje kp/cm²	
	prosječna	pojedinačna minimalna	prosječna	pojedinačna minimalna
Klinker	350	300		
200	200	160	45	36
150	150	120	36	29
110	110	85	30	24
70	70	55	26	20

Laka (porozna) opeka ima isti format kao normalna opeka, težina na primjer opeke od šljake oko 1,4 kg.

Format fasadne opeke 250 × 120 × 60 ili 30 ili 20 mm.

Šuplji zidni blokovi ili obični, normalni zidni blokovi (188, 250 ili 380) × (120, 250 ili 380) × (104, 142 ili 219) mm.

U 1 m³ zida ide 390 komada opeke, a na 1 m visine 13 slojeva (računajući debljinu sljubnica 12 mm).

2. **Crijep** (vidi JUS B.D1.010/1957).

Format običnog (biber) crijepa: (380 ± 7) × (180 ± 3) × (14 + 1 – 3) mm.

Crijep žljebast, utoren: 400 × 218 × 20 mm

Crijep prešan, jednostruko utoren: 400 × 218 × 20 mm

Na 1 m² krova ide običnog, ravnog crijepa za jednostavno pokrivanje 26 komada, za dvostruko pokrivanje 38 komada, za gusto (»krunsko«) pokrivanje 45 komada. Utorenog crijepa treba 14 komada za 1 m².

3. **Salonit-ploče**[2]) (azbestno-cementne ploče)

Valovite ploče: 1220 do 3050 mm, širina 970 i 1050 mm, debljina 6, 7 i 8 mm.

Šablone (pločice za krovove): 300 × 300 ili 400 × 400 mm, debljina 4 ili 4,5 mm.

Ravne ploče: 1200 × (1000 ili 2500) × (5 ili 10) mm.

4. **Lake ploče od drvene vune** (npr. drvolit, proizvodi »Izolit«, Zagreb).

Normalne mjere: 2000 × 500 × (2,5, 3,5, 5, 7 ili 10) mm, težina 400–450 kg/m³.

5. **Lake ploče od drvenih vlakana** (npr. heraklit, šumalit) Normalne mjere: 2000 × 500 × (3, 5 ili 8) mm, težina 400 do 450 kg/m³.

6. **Pločice od majolike:** Normalne mjere 150 × 150 × 6 mm.

7. **Lesonit ploče** (vidi JUS D.C5.022/1957).

Proizvode se kao ekstra-tvrde, tvrde i izolacione (porozne). Normalne duljine: 152, 183, 244, 260, 274, 305, 366, 520, 549 mm. Normalne širine: 122 i 170 mm. Normalne debljine: ekstra-tvrdih: 3,2, 3,5 i 4 mm, tvrdih: 3,2, 3,5, 4 i 5 mm. izolacionih (poroznih): 8, 10, 12,7, 15 i 20 mm.

Marke betona

120

Privremeni tehnički propisi Min. građevina FNRJ iz god. 1947. propisuju ove marke betona:

	Količina cementa u kg po m³ gotovog betona	Marka betona	
		Običan beton	Beton velike otpornosti
Nearmirani beton	150	MB 70	—
	200	MB 110	—
	250	MB 160	MB 220
	300	MB 220	MB 300
	350	MB 300	MB 380
Armirani beton	minimalna	MB 160	—
		MB 220	—
	maksimalna	—	MB 300

Za 1 m³ armiranog betona upotrebljava se normalno 300 kg cementa.

Broj u marki betona označuje čvrstoću kocke na pritisak (tlak) u kp/cm² 28 dana nakon spravljanja betona.

---

1) Klinker-opeku normalnog formata proizvodi »Zagorka« Bedekovčina. Klinker-opeku za oblaganje (valovitu, rebrastu) u formatu 150 × 150 × 18 do 24 mm proizvodi »Keramika«, Mladenovac.

2) Proizvođači: »Antiša Vučičić, Vranjic (Dalmacija) i »15. septembar«, Anhovo (Slovenija).

121

Najmanje potrebne količine cementa u 1 m³ betona

Primjena	Cement kg za 1 m³ betona	Primjena	Cement kg za 1 m³ betona
Armirani beton		**Obični beton**	
za mostove	300	za površinsku obradu	200
za stupove	300	za vanjske dijelove	180/150*
za upornjake	300	za temelje	150/125*
za potporne zidove	300	za ispunu	—/100*
za građevine na vodi	300	**Beton za oblaganje**	
za visokogradnje	270/240*	valjanih ili zavarenih nosača	240
za masivne, malo naprezane dijelove	270/240*		
Armirani ili obični beton koji je izložen utjecaju dimnih plinova	300	Obični beton, nepropustan za vodu	240

* Prva se vrijednost odnosi na one dijelove građevina koji su izloženi vlazi i atmosferskim utjecajima, a druga vrijednost na one dijelove koji tim utjecajima nisu izloženi.

Prema knjizi R. Grün, Tako se pravi dobar beton (prijevod s njemačkog). Tehnička knjiga, Zagreb 1950.

122

Omjer miješanja betona

Omjer miješanja cementa i agregata	Potreba cementa za 1 m³ gotovog betona kg	Potreba cementa za 1 m³ rahlog agregata kg	Količina agregata za 1 m³ betona m³	Omjer miješanja cementa i agregata	Potreba cementa za 1 m³ gotovog betona kg	Potreba cementa za 1 m³ rahlog agregata kg	Količina agregata za 1 m³ betona
1 : 3	400	400	1,00	1 : 7	200	170	1,180
1 : 4	320	300	1,07	1 : 8	180	150	1,200
1 : 4,4	300	275	1,086	1 : 9	160	130	1,210
1 : 5	270	240	1,125	1 : 10	145	120	1,230
1 : 5,5	250	220	1,142	1 : 12	125	100	1,240
1 : 6	230	200	1,160	1 : 15	100	80	1,250
1 : 6,7	210	180	1,170				

Agregat — kamene primjese (tucanik, šljunak) koje se miješaju sa cementom.

Kvalitet i ispitivanje cementa — vidi JUS B.C1.010.

Obični i kemijski nazivi nekih tehničkih materijala

123

Obični (trgovački) naziv	Kemijski naziv	Kemijska formula
acetilen	acetilen	C_2H_2
aceton	aceton	$(CH_3)_2 \cdot CO$
alkohol etilni	etilni alkohol	C_2H_5OH
amonijak	amonijak	NH_3
arsenik	arsenov trioksid	As_2O_3
bakrena rđa	bazični bakreni acetat	$Cu(C_2H_3O_2) +$ $+ x\,Cu(OH)_2 + yH_2O$
benzol	benzol	C_6H_6
boraks	natrijev tetraborat	$Na_2B_4O_7 \cdot 10\,H_2O$
celuloza	celuloza	$(C_6H_{10}O_5)_n$
cijankalij	kalijev cijanid	KCN
cinkovo bjelilo	cinkov oksid	ZnO
čađa	ugljik	C
dušična kiselina	dušična kiselina	HNO_3
eter	dietilni eter	$(C_2H_5)_2O$
Glauberova sol	natrijev sulfat	$Na_2SO_4 \cdot 10\,H_2O$
glicerin	glicerin	$C_3H_5(OH)_3$
glinica	aluminijev trioksid	Al_2O_3
gorka sol	magnezijev sulfat	$MgSO_4 \cdot 7\,H_2O$
grafit	grafit	C
kalcinirana soda	natrijev karbonat	Na_2CO_3
kalijeva lužina	kalijev hidroksid	KOH
karbid	kalcijev karbid	CaC_2
karborund	silicijev karbid	SiC
kaustična soda	natrijev hidroksid	$NaOH$
klorno vapno	kalcijev hipoklorid	$CaCl(OCl)$
korund	aluminijev trioksid	Al_2O_3
krečnjak	kalc. karbonat (silikat)	$CaCO_3$ $(CaSiO_3)$
kreda	kalcijev karbonat	$CaCO_3$
kremen (kvarc)	silicijska kiselina	SiO_2
metan (rovni plin)	metan	CH_4

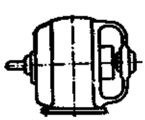
Obični i kemijski nazivi nekih tehničkih materijala (nastavak)

Obični (trgovački) naziv	Kemijski naziv	Kemijska formula
minij	olovni oksid	Pb_3O_4
modra galica	bakreni sulfat	$CuSO_4 + 5\,H_2O$
mramor	kalcijev karbonat	$CaCO_3$
ocat	octena kiselina	$CH_3 \cdot COOH$
olovni sjajnik	olovni oksid	PbO
olovno bjelilo	bazični olovni karbonat	$2\,PbCO_3 \cdot Pb(OH)_2$
potaša	kalijev karbonat	K_2CO_3
rđa željezna	željezni oksid-hidrat	$Fe_2O_3 \cdot Fe(OH)_3$
sadra (gips)	kalcijev sulfat	$CaSO_4 + 2\,H_2O$
salitra čilska	natrijev nitrat	$NaNO_3$
salitra (kalijeva)	kalijev nitrat	KNO_3
salmijak (nišador)	amonijev klorid	NH_4Cl
sol kuhinjska	natrijev klorid	$NaCl$
solna kiselina	klorovodična kiselina	HCl
stipsa (alaun)	kalijev aluminijev sulfat	$KAl(SO_4)_2 + 12\,H_2O$
sumporna kiselina	sumporna kiselina	H_2SO_4
surac	manganov dioksid	MnO_2
ugljična kiselina	ugljični dioksid	CO_2
vapnenac	kalcijev karbonat	$CaCO_3$
vapno gašeno	kalcijev hidroksid	$Ca(OH)_2$
vapno negašeno (živo)	kalcijev oksid	CaO
voda destilirana	destilirana voda	H_2O
voda za lemljenje	vodena rastopina cinkova klorida	$ZnCl_2$
vodeno staklo	natrijev silikat	Na_2SiO_3
vodikov superoksid	vodikov superoksid	H_2O_2
zelena galica	ferosulfat	$FeSO_4 + 7\,H_2O$

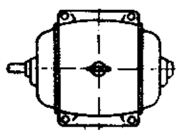
ELEKTRIČNI STROJEVI

Oblici električnih strojeva
prema DIN 42 950

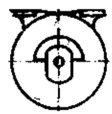
1. Oblik B 3 i iz njega izvedeni oblici



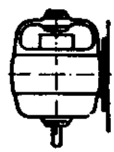
B 3



B 6



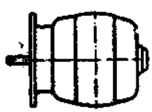
B 8



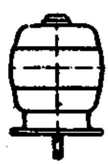
V 5

B 3 — osnovni oblik elektromotora i manjih generatora: stroj sa 2 štitna ležaja, slobodnim krajem osovine i nogama na statoru.
B 6 — izvedba kao B 3, ali je stroj pričvršćen o zid; kraj osovine lijevo.
B 7 — kao B 6, ali kraj osovine desno.
B 8 — izvedba kao B 3, ali je stroj pričvršćen o strop.
V 5 — izvedba kao B 3, ali je stroj pričvršćen o zid u vertikalnom položaju; kraj osovine dolje.
V 6 — kao V 5, ali kraj osovine gore.

2. Oblik B 5 i iz njega izvedeni oblici



B 5

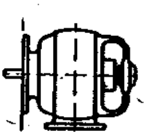


V 1

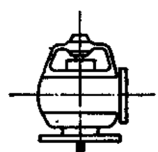
B 5 — prirubni stroj sa slobodnim krajem osovine, jednim normalnim štitnim ležajem, jednim prirubnim štitnim ležajem na zagonskoj strani, stator bez nogu; izvanje centriranje.

V 1 — izvedba kao B 5, ali vertikalan položaj; kraj osovine dolje.
V 3 — kao V 1, ali kraj osovine gore.

3. Kombinacija oblika B 3 i B 5



B 3/B 5



V 1/V 5

B 3/B 5 — strojevi s nogama i prirubnicom na ležajnom štitu sa zagonske strane.
V 1/V 5 — izvedba kao B 3/B 5, ali u vertikalnom položaju; kraj osovine dolje.

V 3/V 6 kao V 1/V 5 ali kraj osovine gore.

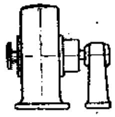
Oblici električnih strojeva (nastavak)

C 2 — kao C 1, ali sa zajedničkom temeljnom pločom; priteznice dozvoljene.

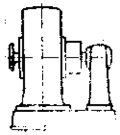
C 3 — strojevi sa dugim komutatorom s jednim štitnim ležajem i jednim odvojenim ležajem na zajedničkoj temeljnoj ploči; priteznice dozvoljene.

C 4 — kombinacija izvedbe C 2 i C 3 (sa jednim štitnim ležajem i jednim odvojenim ležajem).

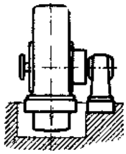
8. Strojevi s odvojenim ležajima



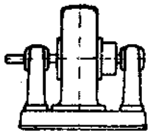
D 1



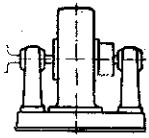
D 2



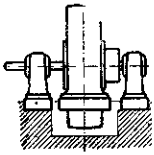
D 3



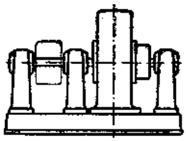
D 5



D 6



D 11



D 13

D 1 — strojevi s jednim odvojenim ležajem i spojkom; stroj i ležaj stoje na produljenoj temeljnoj ploči zagonskog stroja ili na željeznoj konstrukciji; priteznice nisu dozvoljene.

D 2 — kao D 1, ali stroj i ležaj stoje na zajedničkoj temeljnoj ploči; priteznice nisu dozvoljene.

D 3 — kao D 1, ali stroj i ležaj stoje na dvije zasebno ubetonirane ploče; priteznice nisu dozvoljene.

D 5 — strojevi sa 2 odvojena ležaja na zajedničkoj temeljnoj ploči; slobodan kraj osovine; priteznice dozvoljene.

D 6 — kao D 5, ali sa spojkom na osovini; priteznice nisu dozvoljene.

D 9 — kao D 5, ali bez zajedničke temeljne ploče; priteznice nisu dozvoljene.

D 10 — kao D 6, ali bez zajedničke temeljne ploče.

D 11 — strojevi sa dva odvojena ležaja i slobodnim krajem osovine; stroj i ležaji stoje na zasebno ubetoniranim pločama; priteznice nisu dozvoljene.

D 12 — kao D 11, ali sa spojkom na osovini.

D 13 — strojevi sa 3 odvojena ležaja za vrlo jaki vlak remena ili užeta odnosno za zupčani prijenos; stroj i ležaji nalaze se na zajedničkoj temeljnoj ploči; priteznice dozvoljene.

Vrsti mehaničke (konstruktivne) zaštite električnih strojeva — vidi u 52.

125

Ugrijanje električnih strojeva[1])

prema publikaciji IEC br. 34—1/1960 (Preporuke za rotacione električne strojeve)

Redni broj	Dio stroja	Dopušteno ugrijanje u centezimalnim stupnjevima (°C) za mjerenje temperature I — termometrom, II — iz povećanja otpora, III — ugrađenim termočlancima, za izolaciju klase														
		A			E			B			F[2])			H[2])		
		I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III
1	a) Namoti izmjenične struje turbogeneratora snage 5000 kVA ili više Namoti izmjenične struje indukcionih strojeva s istaknutim polovima snage 5000 kVA ili više ili s jezgrom dugačkom 1 m ili više[3])	—	60	60	—	70	70	—	80	80	—	100	100	—	125	125
2	a) Namoti izmjenične struje strojeva manjih nego pod 1 b) Uzbudni namoti istosmjerne struje strojeva izmjenične struje i istosmjerne struje drukčijih od onih koji su navedeni pod 3 i 4 c) Namoti armatura spojenih na kolektor	50	60	—	65*	75	—	70*	80	—	85*	100	—	105*	125	—
3	Uzbudni namoti istosmjerne struje turbo strojeva	—	—	—	—	—	—	—	90	—	—	110	—	—	—	—
4	a) Uzbudni namoti malog otpora s više nego jednim slojem i kompenzacioni namoti	60	60	—	75	75	—	80	80	—	100	100	—	125	125	—
	b) Jednoslojni namoti sa golim izloženim površinama	65	65	—	80	80	—	90	90	—	110	110	—	135	135	—
5	Trajno kratko spojeni izolirani namoti	60	—	—	75	—	—	80	—	—	100	—	—	125	—	—
6	Trajno kratko spojeni neizolirani namoti	Ugrijanje ovih dijelova ne smije ni u kojem slučaju biti takvo da bi se mogao povrijediti susjedni materijal, bio on izoliran ili ne.														
7	Željezne jezgre i drugi dijelovi koji nisu u dodiru s namotima															
8	Željezne jezgre i drugi dijelovi koji su u dodiru s namotima	60	—	—	75	—	—	80	—	—	100	—	—	125	—	—
9	Kolektori i klizni koluti, zaštićeni ili ne	60	—	—	70	—	—	80	—	—	90	—	—	100	—	—

* Za namote izmjenične struje visokog napona treba primijeniti korekturu.

1) Ne vrijedi za turbostrojeve hlađene vodikom.

2) Za namote pod 1 mogu se primijeniti ugrijanja klase F i H samo ako je to dogovoreno između proizvođača i kupca, inače ugrijanje ne smije prijeći granice predviđene za klasu B.

3) Metoda s ugrađenim termočlancima može se primijeniti i na manje strojeve, ali vrijede granice ugrijanja u ovom rednom broju.

Ugrijanje električnih strojeva (nastavak)

Daljnje odredbe IEC

1. Za klasu Y (prije klasa 0) dopušteno ugrijanje je 15° C niže nego za klasu A.

2. Za klasu C još nisu utvrđena dopuštena ugrijanja.

3. Metoda određivanja temperature iz povećanja otpora općenito se upotrebljava za sve namote polja i za statorske namote strojeva gdje se ne upotrebljavaju termočlanci. To je preferencijalna metoda (tj. takva koja se u prvom redu preporučuje). IEC međutim ne misli da treba tražiti oba mjerenja, i termometrom i povećavanjem otpora, pa vrijednosti iz tablice lijevo ne treba uzimati za kontrolu jednog mjerenja prema drugom. Ako kupac želi da termometrom provjeri vrijednosti dobivene metodom povećanja otpora, povišenje temperature utvrđeno termometrom smještenim na najugrijanije mjesto treba da bude predmet posebnog dogovora, ali se nikako ne smiju premašiti ove vrijednosti:

za namote izolirane materijalom klase	A	E	B	F	H	
ugrijanje kontrolirano termometrom najviše	65	80	90	110	135	°C

4. Ugrijanje se može iz mjerenja otpora računati pomoću ovih formula

$$\frac{t_2 + 235}{t_1 + 235} = \frac{R_2}{R_1}$$

$$\text{ili } t_2 - t_a = \frac{R_2 - R_1}{R_1}(235 + t_1) + t_1 - t_a \text{ (za praktične svrhe)}$$

gdje je t_2, R_2 temperatura odn. otpor na kraju ispitivanja, t_1, R_1 temperatura odn. otpor na početku ispitivanja, t_a temperatura rashladnog zraka ili plina na kraju ispitivanja.

5. Ako temperatura rashladnog sredstva prelazi 40° C, treba vrijednosti u tablici lijevo smanjiti: a) za 5° C ako temperatura rashladnog sredstva prelazi 40° C za 5° C ili manje; b) za 10° C ako temp. rashladnog sredstva prelazi 40° C za više od 5° C ali za manje od 10° C; za dogovorenu vrijednost ako temp. rashladnog sredstva prelazi 40° C za 10° C ili više.

6. Ako stroj ima vodeni hladionik zraka ili plina, temperatura rashladnog sredstva mjeri se na ulazu u stroj. Za strojeve (osim turbostrojeva) gdje je rashladna voda znatno ispod 30° C najveće ugrijanje treba da bude predmet posebnog dogovora između proizvođača i kupca.

Primjedbe

1. Upotreba neimpregniranih izolacionih materijala (klasa Y, prije klasa 0) nepreporučuje se.

2. Najviša dozvoljena temperatura pojedinog dijela stroja dobije se kao zbroj: vrijednosti iz tablice + 40° C (temperatura rashladnog zraka). Ovako dobivena temperatura razlikuje se od najviše dozvoljene temperature za dotičnu klasu izolacionog materijala za 5 do 15° C, i to stoga što se temperatura najtoplijeg mjesta u stroju ne može tačno ustanoviti mjerenjem. Mjerenje živinim termometrom je pritom najmanje tačno, a mjerenjem povećanja otpora mjeri se u stvari srednja temperatura namota, a ne temperatura najtoplijeg mjesta.

Ugrijanje električnih strojeva (nastavak)

3. Stariji propisi VDE (0530/2.51, 0530/7.41) pretpostavljali su temperaturu okoline sa 35° C, a ne sa 40° C. Jugoslavenske tvornice su do prije nekoliko godina proizvodile strojeve prema starijim propisima VDE, a i danas se još ponekad u svojim garancijama pozivaju na starije propise VDE iz 1951. god.

4. Posve je pogrešno procjenjivati ugrijanje stroja prema temperaturi kućišta. Izvana razmjerno hladan stroj može biti faktično preopterećen (stariji strojevi ne rijetko).

5. Ako je temperatura rashladnog sredstva (okoline) viša od 40° C, snaga stroja se smanjuje, ako je niža, može se stroj jače opteretiti. Ako proizvođač stroja ne daje posebnih podataka, može za orijentaciju poslužiti ovaj pregled:

Temperatura rashladnog sredstva	20	25	30	35	40	45	50	55	60	°C
Snaga stroja klase A*	113	109	106	103	100	93	87	80	73	%
Snaga stroja klase E*	115	111	107	104	100	95	89	83	77	%
Snaga stroja klase B*	116	112	108	104	100	95	90	85	80	%

6. V e n t i l a c i j a p r o s t o r i j a gdje su smješteni električni strojevi. Ventilacija je dovoljna ako temperatura rashladnog zraka ni ljeti ne prelazi 40° C (odnosno za strojeve građene prema starim propisima VDE 35° C). U nedovoljno ventiliranim prostorijama temperatura može lako prijeći ove granice. Npr. motor od 10 kW sa $\eta = 85\%$ grije prostoriju kao električna peć od 1,5 kW jer toliko iznose njegovi ukupni gubici. Grubo se može uzeti da su u potpunom opterećenju ukupni gubici stroja od 1 kW 25%, od 5 kW 20%, od 10 kW 15%, od 100 kW 10%, a od 1000 kW 5% nazivne snage stroja. (Dakako da strojevi obično ne rade potpuno opterećeni, ali kad su manje opterećeni i η im je lošiji.) Približno treba za 1 kW gubitaka 100 do 150 litara/sek. rashladnog zraka.

125 a

Međunarodne preporuke za turbogeneratore

Publikacija IEC br. 34-3/1958 (Preporuke za preporučljivi standard trofaznih turbogeneratora 3000 okr/min, 50 Hz) daje ove smjernice:

1. Standardne vrijednosti za n a z i v n u s n a g u turbogeneratora.

	Hlađeni zrakom						Hlađeni vodikom				
MW	10	(12)	16	25	40	50	50	63	(80)	100	125
MVA	12,5	(15)	20	31,25	50	62,5	62,5	78,75	(100)	125	156,25

2. F a k t o r s n a g e $\cos \varphi = 0{,}8$
3. R e g u l a c i j a n a p o n a na stezaljkama generatora: $\pm 5\%$
4. O m j e r k r a t k o g s p o j a: $0{,}55 \pm 0{,}05$
5. S u p t r a n s i e n t n a r e a k t a n c i j a: minimum 10% (bez gornje granice).
6. T e m p e r a t u r a r a s h l a d n o g z r a k a i l i v o d i k a: +40°C.
7. H l a d i o n i k v o d o m: Ako je jedan dio isključen zbog čišćenja, stroj mora biti u mogućnosti da radi barem sa $^2/_3$ nazivne snage. Hladionik treba da bude projektiran za najvišu ulaznu temperaturu vode 32° C i za radni tlak 1,75 atp za zrak odnosno 3,5 atp za vodik (ispitni tlak dvostruk).
8. V i t l a n j e: 2 min na 1,2 n_n (n_n — nazivna brzina vrtnje).

---

* Snaga stroja s izolacijom klase A, E odn. B u postocima nazivne snage koju stroj daje pri 40° C.

Tolerancije za električne strojeve
prema preporukama IEC* i propisima VDE**

Veličina za koju se daju garancije	Tolerancije (plus-minus) prema IEC*	Tolerancije (plus-minus) prema VDE**
Korisnost a) određena zbrajanjem gubitaka b) određena mjerenjem predane i primljene snage	$0{,}10\,(1-\eta)$ $0{,}15\,(1-\eta)$ minimum 0,007	$0{,}10\,(1-\eta)$ zaokruženo na 1/1000
Ukupni gubici	+ 10%	—
Faktor snage	$1/6\,(1-\cos\varphi)$ minimum 0,02 maksimum 0,07	
Jalova snaga motora (tolerancija u % garantirane vrijednosti)	$\frac{10\sqrt{P^2+P_x^2}}{P}$ [1]	—

Brzina vrtnje istosmjernih motora (tolerancije u % garant. vrijednosti) — Nazivna snaga

	kW za 1000 okr/min: 2/3 do < 2,5	kW za 1000 okr/min: 2,5 do < 10	kW za 1000 okr/min: 10 i više	kW: < 1,1	kW: 1,1 do 11	kW: > 11
za poredne motore	10	7,5	5	10	7,5	5
za serijske motore	15	10	7,5	15	10	7
za kompaundne motore	—	—	—	12	8,5	6

Veličina za koju se daju garancije	prema IEC*	prema VDE**
Klizanje asinhronih motora	20% garantirane vrijednosti	
Promjena brzine porednih i kompaundnih motora od praznog hoda do potpunog opterećenja (tolerancije u % garantirane vrijednosti)	20 % minimum 0,2 % nazivne brzine	10 %
Promjena napona istosmjernih generatora (u % garant. vrijednosti)	20 % ali kod kompaundnih generatora minimum 2 % nazivnog napona	
Promjena napona a) jednoarmaturnih pretvarača b) kaskadnih pretvarača	— —	1 % nazivnog napona[2] 3 % nazivnog napona[2]
Napon jednoarmaturnih pretvarača bez vlastitog transformatora za snage do 20 kW	—	5 % sekundarnog nazivnog napona[2]
Struja kod pokretanja kaveznih asinhronih motora	20% garantirane vrijednosti	
Struja kratkog spoja sinhronih generatora a) udarna struja b) trajna struja	Tolerancije u % garant. vrijednosti 30 % 15 %	 20 % 15 %
Potezni moment asinhronih motora	10% garantirane vrijednosti	
Prekretni moment motora	10% garantirane vrijednosti[3]	

* Publikacija IEC-a br. 34.1, »Preporuke IEC-a za rotacione električne strojeve«, iz god. 1960., (6. izdanje).

** »Pravila za električne strojeve« VDE 0530/3.59. **Pazi!** Tolerancije prema ranijim propisima (VDE 0530/XII. 37, 0530/2.51) donekle se razlikuju od tolerancija u navedenim propisima koji su već znatno usklađeni sa preporukama IEC.

[1] Prema 4. izdanju publikacije br. 34 IEC-a iz 1935. god. U 5. izdanju te tolerancije nema.

[2] Prema VDE 0530/2.51. U novom izdanju tih tolerancija nema.

[3] Uz uvjet da nakon primjene tolerancije pretičak momenta ostaje još veći od 60% nazivnog momenta za motore u trajnom ili kratkotrajnom pogonu, a 100% za motore u internitiranom pogonu.

127 ISPITIVANJE IZOLACIJE ELEKTRIČNIH STROJEVA

1. Ispitivanje izolacije namota (međusobno i prema tijelu)

IEC[1] i VDE[2] propisuju:

Jedan pol izvora struje priključi se na ispitivani namot, a drugi na ostale namote koji su spojeni međusobno i s tijelom (masom).

Ispituje se uz 50 Hz ili uz nazivnu frekvenciju stroja. Najviše 50% ispitnog napona smije se narinuti uklapanjem sklopke. Dalje se napon povisuje kontinuirano ili u stupnjevima od najviše 5% krajnje vrijednosti. Vrijeme povisivanja napona ne smije biti kraće od 10 s. Puni ispitni napon treba držati 1 minutu.

Ispitni naponi jesu:

Namot	Ispitni napon[3]) V
1. Svi namoti osim onih pod 2 do 6 za veličinu stroja:	
a) < 1 kW (kVA)	$2U_n + 500$
b) 1 do < 10 000 kW (kVA)	$2U_n + 1000$, ali barem 1500
c) ≧ 10 000 kW (kVA), do 2 kV	$2U_n + 1000$
„ > 2 do 6 kV	$2{,}5U_n$
„ > 6 do 16,5 kV	$2U_n + 3000$
„ > 16,5 kV	Po posebnom sporazumu
2. Namoti sa stranom uzbudom istosmjernih strojeva	$2U_{umax} + 1000$, barem 1500 U_{umax} — najveći napon uzbude
3. Uzbudni namoti sinhronih strojeva	$10U_{un}$, barem 1500, najviše 3500 V U_{un} — nazivni napon uzbude
4. Uzbudni namoti sinhronih motora, sinhr. kompenzatora i sinhr. pretvarača	$2U + 1000$[4]) ali barem 1500
5. Sekundarni namoti (obično rotor) asinhronih ili sinhroniziranih asinhronih motora koji nisu trajno kratko spojeni (npr. koji se pokreću pomoću otpornika):	
a) Za motore koji se ne reverziraju ili se reverziraju samo iz mirovanja.	$2U + 1000$[5])
b) Za motore koji se mogu revrzirati ili kočiti invertiranjem primarnog napona dok motor radi.	$4U + 1000$[5])
6. Namoti uzbudnih strojeva	Kao za namote s kojima su spojeni[6]).

[1]) do [6]) vidi na narednoj strani dolje.

Prema propisima VDE preporučuje se da se strojevima iznad 1 kVA ispita, po mogućnosti, svaka faza posebno. Na strojevima s naponom iznad 1 kV to se mora učiniti; ako to nije moguće na gotovom stroju, treba stroj ispitati u radionici prije dovršenja dok faze još nisu spojene.

Propisi VDE *dopuštaju da se stroju narine odmah puni ispitni napon* ako on nije veći od 2 kV. Kad se serijski ispituju strojevi do 525 V nazivnog napona, smije se vrijeme ispitivanja skratiti na 5 sekunda.

Trajno kratko spojene namote ne treba podvrgnuti ovom ispitivanju.

Prema propisima VDE vrijednosti navedene u tablici se *samo na nove ili posve nanovo namotane* strojeve. Popravljeni namoti rabljenih strojeva ispituju se ispitnim naponom, koji iznosi 75% vrijednosti u tablici. Rabljeni strojevi se nakon revizije, čišćenja i sušenja ispituju sa 150% nazivnog napona, ali barem sa 500 V.

I novi strojevi ispituju se samo jednom. Treba li ih, izuzetno, ispitati ponovo, ispituju se samo sa 80% ispitnog napona prema navedenoj tablici.

2. Ispitivanje udarnim naponom

Električni strojevi se normalno ne ispituju udarnim naponom. Ni preporuke IEC ni propisi VDE ne propisuju ovo ispitivanje.

3. Ispitivanje izolacije zavoja

Publikacija IEC-a o električnim strojevima ne sadrži još nikakve podatke o ovom ispitivanju.

Prema propisima VDE ispituje se u praznom hodu uz povišeni narinuti ili proizvedeni napon (motori ili generatori). Frekvencija odn. brzina vrtnje mogu se pritom povisiti. Ispitivanje traje 3 min., a ispitni naponi su ovi:

a) *Za namote čija se međusobna izolacija ni izolacija prema zemlji ne* mogu ispitati (namoti strojeva < 1000 V s nerazrješivim spojevima . . . . $1{,}5\ U_n$

b) Za namote sa stepenovanom izolacijom za trajno uzemljenje jednog pola . . . . $1{,}5\ U_n$

c) Armature (indukti) istosmjernih strojeva i svi ostali namoti ne spomenuti pod a) i b) . . . . $1{,}3\ U_n$

4. Ispitivanje stezaljki (prema VDE)

Stezaljke treba ispitati prije priključka namota ili odjelito. One moraju za vrijeme 1 min izdržati bez proboja ili preskoka ispitni napon koji iznosi 150% od ispitnog napona prema tablici lijevo za pripadni namot.

Primjedbe sa prethodne strane:

[1]) Prema publikaciji IEC-a br. 34—1 »Preporuke IEC-a za rotirajuće električne strojeve«, 6. izdanje 1960. godine.

[2]) Prema VDE 0530/3.59 »Pravila za električne strojeve«.

[3]) U_n — *nazivni napon stroja* U_u — *napon uzbude.*

[4]) Napon U znači: a) Ako će stroj biti pokretan s uzbudnim namotom kratko spojenim ili zatvorenim preko armature (indukta) uzbudnog stroja, odnosno ako namoti izmjenične struje neće za vrijeme pokretanja biti pod naponom: U — maksimalni nazivni uzbudni napon; b) ako će stroj biti pokretan s otpornikom u seriji s uzbudnim namotom ili ako će uzbudni namot za vrijeme pokretanja biti otvoren: U — najviši efektivni napon na uzbudnom namotu za vrijeme pokretanja.

[5]) U — napon otvorenog sekund. kruga u mirovanju mjeren između kliznih prstenova ili sekund. stezaljki, kad je na prim. namote narinut nazivni napon.

[6]) Ne vrijedi za namote sa stranom uzbudom (vidi tačku 2 tablice) kao ni za namote sinhronih i sinhroniziranih asinhronih motora ako su uzemljeni ili otklopljeni od uzbudnih namota za vrijeme pokretanja; tada je ispitni napon 2 × *nazivni napon uzbude, ali barem 1500 V.*

128 a Nazivna snaga, nazivni napon i nazivna struja električnih strojeva

(za izmjenične jednofazne i trofazne strojeve)

Nazivna snaga generatora S_n je prividna snaga u kVA (ili MVA) za koju je generator građen i koja je navedena na njegovoj označnoj ploči te koju on može trajno predavati na svojim stezaljkama, a da pritom njegovo ugrijanje uz inače određene uvjete ne prelazi dozvoljene granice.

Generatori mogu davati svoju nazivnu snagu obično samo onda ako je cos φ (induktivni) = 0,8 do 1. Ako generator treba da daje nazivnu snagu i uz cos φ manji od 0,8, treba to posebno specificirati. Obično, ako je cos φ lošiji od 0,8, snaga se smanjuje na ove postotke:

za cos φ (induktivni)	1	0,8	0,7	0,6	0,5	0
snaga u % nazivne iznosi	100	100	93	86	82	75%

Snaga koju pogonski stroj mora davati generatoru kod potpunog opterećenja iznosi:

$S = S_n \cos \varphi / \eta$ gdje je η korisnost generatora.

Nazivni napon generatora U_n obično se uzima 5% višim od nazivnog napona mreže. (Nazivne napone mreže vidi u **42a** i **b** te **45**). Napon generatora obično se može regulirati u granicama između 90 i 105% nazivnog napona.

Nazivna struja generatora iznosi:

$$I_n = \frac{S_n}{U_n} \text{ za jednofazne odn. } I_n = \frac{S_n}{\sqrt{3}\,U_n} \text{ za trofazne generatore}$$

S_n u kVA, U_n u kV

Nazivna snaga motora P_n je ona djelatna snaga u kW (ili W) za koju je motor građen i koja je navedena na njegovoj označnoj ploči te koju on može uz specificirane pogonske uvjete predavati na osovini gonjenom stroju, a da pri tome njegovo ugrijanje uz inače određene uvjete ne prelazi dozvoljene granice.

Snaga koju motor kod potpunog opterećenja uzima iz mreže iznosi:

$P = P_n/\eta$, gdje je η korisnost motora.

Nazivna struja motora iznosi:

$$I_n = \frac{P_n}{U_n \eta \cos \varphi} \text{ za jednofazne odn. } = \frac{P}{\sqrt{3}\,U_n \eta \cos \varphi} \text{ za trof. motore}$$

P_n u kW, U_n u kV

Standardne sinhrone brzine vrtnje električnih strojeva kod 50 Hz

128 b

prema VDE 0530/3.59

Za $2p$ =	2	4	6	8	10	12	16	20	24
n_s =	3000	1500	1000	750	600	500	375	300	250
Za $2p$ =	(28)	32	(36)	40	48	(56)	64	(72)	80
n_s =	(214)	188	(167)	150	125	(107)	94	(83)	75

p — broj pari polova, n_s — sinhrona brzina vrtnje.
Vrijednosti u zagradi treba po mogućnosti izbjegavati.

Brzine vitlanja električnih strojeva

128 c

prema VDE 0530/3.59

1. Hidrogeneratori: brzina pri pobjegu turbine, ali barem 1,8 n_n.
2. Turbogeneratori: 1,25 n_n[1]).
3. Generatori sa drugim pogonom (na pr. dizel): 1,2 n_n.
4. Motori za konstantnu brzinu vrtnje: 1,2 n_{omax}[2]).
5. Motori sa stupnjevanjem brzine vrtnje: 1,2 n_{omax}[2]).
6. Motori sa regulacijom brzine vrtnje: 1,2 n_{omax}[2]).
7. Motori sa serijskom karakteristikom: 1,2×najveća brzina vrtnje koja je navedena na označnoj ploči, ali barem 1,5 n_n.
8. Sinhroni kompenzatori za konstantnu brzinu vrtnje: 1,2 n_n.
   n_n — nazivna brzina vrtnje, n_{omax} — maksimalna brzina vrtnje u praznom hodu.

Preporuke IEC-a iz 1953. godine ne sadrže nikakvih podataka o vitlanju električnih strojeva.

Strujna preopteretivost generatora

128 d

Prema preporukama IEC (publikacija br. 34.1 iz 1960. godine) generatori moraju biti sposobni, da za vrijeme od 15 sek. izdrže struju 50% jaču od nazivne.

---

[1]) Parna turbina mora imati brzozaporni ventil, koji djeluje kod 1,1 n_n.

[2]) Ako je na označenoj ploči navedena veća brzina od one koja se u pogonu dozvoljava, tada je brzina vitlanja = 1,2 × ta veća brzina.

129 Približna težina električnih strojeva

Računa se po formuli:

$$G = k \cdot 10 \sqrt[3]{\left(\frac{P}{n}\right)^2} = k \cdot G' \quad \text{[tona, 1, kVA, okr/min]}$$

Vrijednosti faktora k za pojedine vrsti električnih strojeva*:

— hidrogeneratori	oko 1,1
— generatori sa temeljnom pločom i 2 odvojena ležaja .	0,8 —1,2
— generatori sa 2 štitna i 1 odvojenim ležajem sa zajedničkom temeljnom pločom	0,75—0,9
— generatori sa štitnim ležajima	0,6 —0,75
— turbogeneratori	1,8 —2,2
— sinhroni kompenzatori sa temeljnom pločom i 2 odvojena ležaja	0,8 —1,0
— istosmjerni strojevi sa štitnim ležajima	0,75—0,9
— istosmjerni strojevi sa temeljnom pločom i 2 odvojena ležaja	0,9 —1,1
— istosmjerni strojevi sa temeljnom pločom i 3 odvojena ležaja	1,05—1,25
— istosmjerni motori za vuču	0,6 —0,72
— mali motori sa štitnim ležajima	0,3 —0,5
— indukcioni (asinhroni) motori sa štitnim ležajima . .	0,5 —0,65
— indukcioni (asinhroni) motori sa temeljnom pločom i 2 odvojena ležaja	0,6 —0,78
— indukcioni (asinhroni) motori sa temeljnom pločom i 3 odvojena ležaja	0,7 —0,9

Vrijednosti G' izračunate po gornjoj formuli $\left(G' = 10 \sqrt[3]{(P/n)^2}\right)$:

Snaga P kVA	Vrijednosti G' u tonama za brzinu vrtnje n (okr/min)											
	3000	1500	1000	750	600	500	375	300	250	188	150	125
10	0,22	0,35	0,46	0,56	0,65							
25	0,41	0,65	0,85	1,04	1,21	1,36						
50	0,65	1,04	1,36	1,65	1,91	2,16	2,61					
100	1,04	1,65	2,16	2,61	3,13	3,42	4,16	4,81				
250	1,91	3,03	3,97	4,80	5,59	6,30	7,63	8,86	10,0			
500	3,15	4,81	6,30	7,64	8,85	10,0	12,1	14,1	15,9	19,2	22,3	25,1
1000	4,68	7,64	10,0	12,1	14,1	15,9	19,3	22,3	25,2	30,6	35,4	40,0
2500	8,86	14,1	18,4	22,3	25,9	29,2	35,4	41,1	46,4	56,3	65,2	73,7
5000	14,1	22,3	29,2	35,4	41,1	46,4	56,3	65,3	73,7	89,3	104	117
10000	21,7	35,4	46,5	56,3	65,3	73,6	89,6	104	117	142	165	186
25000	41,1	65,2	85,5	104	121	136	165	192	216	261	303	342
50000	65,3	104	136	165	192	216	261	303	342	415	481	543
100000	101	165	216	261	303	342	416	480	543	658	764	862

* Prema Tehničkom priručniku Tvornice »Rade Končar«.

Karakteristične veličine sinhronih strojeva **130**

za proračun kratkog spoja

Vrijednost izvan zagrade je prosječna vrijednost, vrijednosti u zagradi obične granice

Veličina	Turbogeneratori	Generatori s istaknutim polovima			
		sa prigušnim namotom		bez prigušnog namota	
		$2p<8$	$2p>8$	$2p<8$	$2p>8$
Početna (suptransientna) reaktancija x_d'' %	12 (9...15)	18 (15...25)	22 (18...30)	25 (20...30)	30 (25...45)
Prolazna (transientna) reaktancija x_d' %	18 (13...22)	25 (20...30)	33 (25...45)	27 (20...30)	33 (25...45)
Sinhrona reaktancija x_d %	160 (120...200)	100 (60...140)	100 (70...130)	100 (50...140)	100 (70...130)
Omjer kratkog spoja k_o	0,60 (0,5...0,8)	1,0 (0,7...1,6)	1,0 (0,8...1,2)	1,0 (0,7...1,6)	1,0 (0,8...1,2)
Inverzna reaktancija x_2 %	12 (9...15)	20 (15...25)	24 (18...30)	45 (30...60)	50 (35...65)
Nul-reaktancija x_0 %	(3...9)	(3...15)	(3...15)	(3...15)	(3...15)
Početna (suptransientna) vremenska konstanta T_d'' sek.	0,07 (0,05...0,10)	0,06 (0,04...0,08)	0,06 (0,04...0,08)	—	—
Prolazna (transientna) vremenska konstanta T_d' sek.	1,3 (0,5...1,8)	1,5 (0,7...2,5)	1,5 (0,9...2,5)	1,5 (0,7...2,5)	1,5 (0,9...2,5)
Vremenska konstanta praznog hoda T_{do} sek.	10 (5...15)	6 (4...10)	5 (3...8)	6 (4...10)	5 (3...8)
Vremenska konstanta istosmjernog člana T_i sek.	0,15 (0,05...0,30)	0,18 (0,10...0,30)	0,22 (0,10...0,30)	0,30 (0,15...0,50)	0,35 (0,20...0,50)

Vrijednosti u tablici prema podacima tvornice Siemens (SSW).
$2p < 8$ — brzohodni strojevi, $2p > 8$ — sporohodni strojevi (p — broj pari polova.

131

Vodne turbine

Vodne turbine se klasificiraju prema specifičnoj brzini vrtnje n_s (ili, kako je još zovu, karakterističnoj brzini)* koja je dana izrazom

$$n_s = \frac{n\sqrt{P}}{H\sqrt[4]{H}}$$

P — nazivna snaga turbine
H — korisni pad vode
n — nazivna brzina vrtnje

Područja primjene pojedinih vrsti turbina jesu:

n_s okr/min	Vrst turbine**	Korisni pad m
< 35	Peltonove turbine s jednom sapnicom	> 100
25 do 50	„ „ sa 2 sapnice	800 do 100
50 do 72	„ „ sa 4 sapnice	400 do 100
55 do 70	Francisove turbine vrlo sporohodne	400 do 200
70 do 120	„ „ sporohodne	200 do 100
120 do 200	„ „ srednje	100 do 50
200 do 300	„ „ brzohodne	50 do 25
300 do 450	„ „ vrlo brzohodne	25 do 15
400 do 700	Propelerne (helikoidalne) turbine	25 do 10
270 do 500	Kaplanove turbine sporohodne	50 do 15
500 do 800	„ „ brzohodne	15 do 5
800 do 1100	„ „ vrlo brzohodne	> 5

Peltonove turbine odlikuju se dobrom korisnošću sve do 25% nazivnog opterećenja. Prema tome, mogu se dobro koristiti i kod slabih opterećenja.

Francisove turbine imaju dobru korisnost između 60 i 100% nazivnog opterećenja pa prema tome instaliranu snagu elektrane treba po mogućnosti tako podijeliti da turbine nikad ne budu opterećene ispod 60%, izuzetno 50% (kod manjih opterećenja pojavljuje se i opasnost kavitacije). Francisove turbine imaju prema Peltonovim ipak ove prednosti: bolju korisnost između 60 i 100% opterećenja; veću brzinu vrtnje, pa prema tome manje mjere i jeftinije generatore; veću elastičnost prema promjenama pada. Stoga Francisove turbine sve više prodiru u područje Peltonovih turbina ($H > 200$ m), osobito turbine velike snage i za promjenljivi pad.

Propelerne turbine imaju fiksne lopatice rotora i lošu korisnost već kod 75% opterećenja. Upotrebljavaju se stoga samo za male snage ili tamo gdje su snaga i pad gotovo konstantni.

Kaplanove turbine su skuplje od Francisovih, ali imaju dobru korisnost sve do kojih 25% nazivnog opterećenja, veću brzinu (jeftiniji generator) i bolje se prilagođavaju promjenama pada. Stoga Kaplanove turbine prodiru u područje Francisovih turbina ($H > 25$ m).

Približna snaga turbine i generatora jest (uz $\eta_t = 86\%$, $\eta_g = 95\%$):

$$P_t = 11{,}5\ QH \text{ KS} \qquad P_g = 8\ QH \text{ kW}$$

(Q količina protoka m³/h, H — korisni pad m).

---

* Specifična brzina vrtnje turbine je brzina vrtnje slične turbine koja uz koristan pad od 1 m razvija snagu 1 KS.

** Izrazi sporohodan i brzohodan odnose se samo na specifičnu, a ne na stvarnu brzinu vrtnje turbine. Čak, stvarna brzina vrtnje je, općenito, to veća što je njezin n_s manji, tj. što je sporohodnija.

Vrsti motornih pogona

TP

1. **Trajni pogon TP** (DB*): Motor radi uz nazivnu snagu tako dugo da postigne stacionarnu temperaturu (ovo je slučaj za koji se normalno dimenzioniraju elektromotori).

KP $t_{KP} = ?$

2. **Kratkotrajni pogon KP** (KB): Motor uz nazivnu snagu radi tako kratko vrijeme (*koje treba utvrditi*) da ne postigne stacionarnu temperaturu. Pauza za vrijeme koje motor miruje dovoljno je duga da se on ohladi na temperaturu okoline. (*Npr. motori za zapornice i zaustave hidromehaničkih uređaja i dr.*)

TK

3. **Trajni pogon s kratkotrajnim opterećenjem TK** (DKB): Kao KP, ali motor za vrijeme pauze nije isključen, već se vrti u praznom hodu te se ohladi na stacionarnu temperaturu praznog hoda.

4. **Isprekidani (intermitirani) pogon IP** (AB): Motor naizmjence radi uz nazivnu snagu i miruje. Pauze su tako kratke da se motor ne stigne ohladiti na temperaturu okoline. (Npr. motori za dizala.)

5. **Trajni pogon s isprekidanim (intermitiranim) opterećenjem TI** (DAB): *Kao IP, ali za vrijeme pauza motor nije isklopljen, već se vrti u praznom* hodu. (Motori za razne svrhe gdje se rad obavlja u kratkotrajnim radnim *periodama, a za vrijeme pauze se motor ne zaustavlja*; npr. štance, preše, strojevi za obradu drva itd.)

6. **Pogoni s preklapanjem,** gdje je ugrijanje stroja uglavnom određeno zaletom, kočenjem ili preklapanjem (podrobnije vidi u VDE 0530/3.59, § 18f).

Za trajanje rada u KP te trajanje opterećenja u TK ove su vrijednosti standardne: prema IEC 15, 25, 40 i 60 min; prema VDE 10, 30 i 60 min.

Pogonski ciklus se sastoji:

a) kod IP od vremena rada i vremena mirovanja,
b) kod TI od vremena opterećenja i vremena praznog hoda.

Ako nije drukčije utanačeno, pogonski ciklus iznosi 10 min.

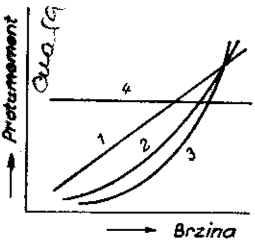
Relativno vrijeme rada (intermitencija) je omjer vremena rada (kod IP) odnosno vremena opterećenja (kod TI) i pogonskog ciklusa. Kao standardne vrijednosti relativnog vremena rada IEC preporučuje 25, 40 i 60%, a VDE 10, 30 i 60%. U nas takve motore proizvodi jedino »Rade Končar« i upotrebljava intermitenciju 20, 40 i 60%.

Pazi! Nazivna snaga i pripadni podaci vrijede samo za onu vrst pogona (npr. IP) i one pogonske podatke (npr. intermitencija 40%) koji su označeni na označnoj ploči. Motor 10 kW za TP ne može se bez premotavanja upotrijebiti npr. za TI. Nakon premotavanja on može dati veću snagu, to veću što je intermitencija manja.

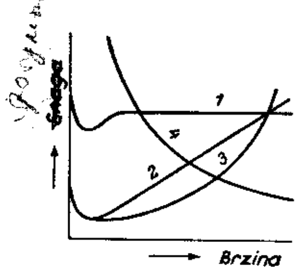
* Oznake u zagradi jesu oznake prema VDE.

133 Karakteristike tereta i pokretanje elektromotora

Gonjeni stroj odnosno naprava opire se elektromotoru svojim zakretnim protumomentom.



Ovisnost protumomenta o brzini



Ovisnost potrebne snage zagonskog motora o brzini

1. Protumoment je praktički konstantan pa je potrebna snaga razmjerna sa brzinom. Primjeri: dizalice svih vrsta, stapne pumpe i kompresori koji rade na konstantni protutlak, rotacioni kompresori i ventilatori, trakasti transporteri.

2. Protumoment je razmjeran sa brzinom pa je potrebna snaga razmjerna s kvadratom brzine. Primjer: Kalandri.

3. Protumoment raste sa kvadratom brzine pa potrebna snaga raste s trećom potencijom brzine. Primjeri: Centrifugalne, vijčane i helikoidalne pumpe, ventilatori, turbokompresori, stapni strojevi koji rade na otvorene cijevi.

4. Protumoment je obrnuto razmjeran sa brzinom pa je potrebna snaga konstantna. Primjeri: Tokarilice i slični radni strojevi.

Protumoment je u času pokretanja, zbog trenja mirovanja, veći nego neposredno nakon što je stroj krenuo. Protumoment pri zaletu motora može se samo djelomično prosuditi po krivuljama na gornjim slikama jer se mnogi strojevi pokreću rasterećeni (npr. alatni strojevi), a zalet nekih je bitno otežan pokretanjem velikih masa (valjaoničke pruge, kalandri).

S obzirom na težinu pokretanja razlikuju se:

1. **Neopterećeni zalet,** gdje je protumoment vrlo malen budući da se motor optereti tek pošto se posve zaletio. Primjeri: Tokarilice, bušilice, preše, štance i drugi alatni strojevi, stapni kompresori koji se pokreću bez tereta.

2. **Zalet sa pola tereta,** gdje protumoment raste sa brzinom. Primjeri: Ventilatori, centrifugalne pumpe, turbokompresori.

3. **Zalet s punim teretom,** gdje je protumoment pokretanja približno jednak protumomentu punog tereta. Primjeri: Dizalice, trakasti transporteri, stapne pumpe kad se pokreću pod opterećenjem.

4. **Težak zalet,** gdje je protumoment pokretanja znatno veći od protumomenta punog tereta. Primjeri: Valjaoničke pruge, kugleni mlinovi, kalandri.

Trajanje zaleta:

$$t_z = 2{,}67\ \frac{GD^2}{M_z} \cdot n \cdot 10^{-3} \qquad [\text{s, kpm}^2\text{; kpm, 1/min}]$$

GD^2 se izračuna prema 54/13 na str. 132 za elektromotor i sve gonjene strojeve i terete:

$$G_m D^2_m + G_1 D_1^{\,1} + G_2 D_2^{\,2} + \cdots$$

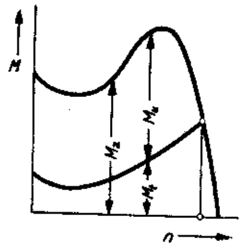
Ako gonjeni stroj nije na istoj osovini s elektromotorom (npr. remenski ili zupčani prijenos) već na osovini brzine n_1, treba njegov zamašni moment preračunati na brzinu n elektromotora:

$$G_1D_1^2 = (G_1D_1^2)' \cdot \left(\frac{n_1}{n}\right)^2 \qquad [\text{kpm}^2]$$

Ako elektromotor pokreće i mase koje se gibaju u pravcu (npr. mosna dizalica), treba zamašni moment i te mase težine Q i brzine v preračunati na brzinu elektromotora:

$$(GD^2)_a = 365\,Q \left(\frac{v}{n}\right)^2 \qquad [\text{kpm}^2]$$

Zakretni moment M_z jednak je prema slici desno razlici zakretnog momenta motora pri zaletu i protumomenta tereta. U račun se uzima srednja vrijednost te razlike.



Dozvoljena preopterećenja elektromotora

134

1. Preopteretivost strujom u trajnom pogonu prema VDE 0530/3.59: kroz 2 min 1,5 × nazivna struja.

2. Mehanička preopteretivost. tj. omjer između prekretnog i nazivnog zakretnog momenta uz nazivni napon i nazivnu frekvenciju, mora prema publikaciji IEC broj 34.I/1960 i VDE 0530/3.59 iznositi za asinhrone motore barem:

za vrst pogona*:	TP	KP	TK	IP	TI
preopteretivost¹)	1,6	1,6	1,6	2	1,6

Istosmjerni motori moraju se dati mehanički preopteretiti prema IEC barem 50%, a prema VDE kao i asinhroni motori. Najmanja mehanička preopteretivost sinhronih motora s cilindričnim rotorom prema IEC 35%, prema VDE 50%, a motora s istaknutim polovima prema IEC i VDE 50%. Prema američkim propisima (NEMA MG50-110) mehanička preopteretivost motora za TP mora iznositi barem 2.

Prema podacima poduzeća »Rade Končar« mehanička preopteretivost njezinih asinhronih motora za TP iznosi barem 2, a često i preko 3. Kranski motori za IP imaju barem ovu preopteretivost:

Za kranske motore s intermitencijom	15%	25%	40%
iznosi preopteretivost zaštićenih motora	2,0	2,2	2,6
„ zatvorenih „	2,2	2,5	3,1

* Vrsti pogona vidi u 132.

¹) Prema IEC samo za trofazne motore, prema VDE za trofazne i jednofazne motore.

135 KARAKTERISTIKE I UPOTREBA POJEDINIH VRSTI MOTORA

I. Trofazni asinhroni kavezni motori

0. Vrsti motora s obzirom na kavez: a) Obični kavezni motori imaju rotor s okruglim ili pravokutnim štapovima. b) Motori s uskoštapnim rotorom imaju uske ili klinovite i drukčije profilirane štapove sa svrhom da se poveća prividni otpor pri pokretanju i tako smanji struja pokretanja. c) Dvokavezni motori (Boucherot* motori) imaju dva posve odijeljenja kaveza. Ima i kombinacija ovih vrsti.

1. Pokretanje: a) *Direktnim priključkom na mrežu:* Elektroprivredna poduzeća propisuju (s obzirom na vrst i snagu mreže) do kojih se *snaga ovi motori smiju priključiti* direktno. Obični motori priključuju se do snaga od nekoliko kW, dvokavezni motori kadšto i bez ograničenja. b) Preko *sklopke zvijezda-trokut:* osobito obični i dvokavezni motori. c) Pomoću pokretača s otpornicima u statorskom krugu ili d) pomoću transformatora (obično autotransformatora) — jedno i drugo samo za veće snage (osobito za motore s uskoštapnim rotorom). e) Pomoću centrifugalne spojke.

2. Potezni moment u % nazivnog zakretnog momenta, za direktno uklapanje: a) Obični kavezni motori 160 do 290%, b) motori s uskoštapnim rotorom *120 do 200%, c) dvokavezni motori 100 do 300% (obično se ne uklapa* direktno**). Općenito, veće vrijednosti vrijede za veće snage. Ako se motor uklapa *preko sklopke zvijezda-trokut, potezni moment se smanjuje na približno* 1/3 (opada približno s kvadratom napona).

3. Struja pokretanja u % nazivne, za direktno uklapanje: a) Obični kavezni motori 300 do 700%, b) motori s uskoštapnim rotorom 250 do 500%, c) dvokavezni motori 200 do 500% (obično se ne uklapa direktno**). Općenito, veće vrijednosti vrijede za veće snage. Ako se motor uklapa preko sklopke zvijezda-trokut, struja pokretanja opada na približno 1/3.

4. Prekretni moment u % nazivnog: a) Obični kavezni motori oko 260%, b) motori s uskoštapnim rotorom i dvokavezni motori oko 200%.

5. Smanjenje brzine *(klizanje) u punom opterećenju:* a) Motori do 1 kW 6 do 10%; b) 1 do 3 kW 5 do 9%; c) 3 do 10 kW 3,5 do 6%; *d) iznad 10 kW 1 do 4%. (Manji brojevi se odnose na veće snage i na* brzohodne strojeve.) Tvrda karakteristika.

6. Regulacija brzine: *Moguća samo s motorima specijalne* izvedbe u grubim stupnjevima, preklapanjem polova, i to u 2 do 4 stupnja, npr. *1500 i 750 ili 1500, 1000, 750 i 500 o/min (sinhrona brzina vrtnje).* Opseg regulacije 2 : 1 do 4 : 1.

7. Promjena smjera vrtnje: Međusobnom zamjenom priključaka na dvije stezaljke.

8. Električko kočenje: a) Preklapanjem motora za protivni smjer vrtnje; b) korisno kočenje u nadsinhronoj brzini.

9. Granice izvedbe: Za snagu do nekoliko hiljada kW. Za napon: do 15 000 V.

10. Prednosti: Najjednostavniji, najjeftiniji i u pogonu najsigurniji motori uopće, približno konstantna brzina vrtnje.

---

* Čitaj Bušero.
** Zbog prevelikog ubrzanja.

11. M a n e: Razmjerno velika struja pokretanja odnosno razmjerno mali potezni moment, nemogućnost regulacije brzine normalnih motora, slab cos φ kod djelomičnih opterećenja, poteškoće sa dozvolom priključka od elektroprivrednih distributivnih poduzeća.

12. U p o t r e b a: Najšira primjena u vrlo različitim pogonima, npr.: za pumpe, ventilatore, kompresore, radne strojeve, strojeve drvne industrije, liftove itd. Prikladan za skoro sve normalne pogone.

II. Trofazni asinhroni kolutni motori

1. P o k r e t a n j e: Pokretačem u rotorskom krugu.

2. P o t e z n i m o m e n t ovisi o prikladno odabranom pokretaču, a može biti najviše jednak prekretnom momentu.

3. S t r u j a p o k r e t a n j a u % nazivne: a) Kad se pokreću s pola tereta: 65 do 75%; b) kad se pokreću s punim teretom: 130 do 150%; c) kad se pokreću s teškim teretom (teško pokretanje): 170 do 200%.

4. P r e k r e t n i m o m e n t: 200 do 400% od nazivnog zakretnog momenta.

5. S m a n j e n j e b r z i n e (klizanje) u punom opterećenju: Otprilike jednako kao i kaveznih motora jednake snage, broja polova i mehaničke zaštite (t v r d a k a r a k t e r i s t i k a). Međutim, ako se brzina regulira otpornikom u rotorskom krugu, brzina se s opterećenjem to više smanjuje što je u rotorski krug ukopčan veći otpor.

6. R e g u l a c i j a b r z i n e: a) Preklapanjem polova (Dahlanderov spoj) kao u kaveznih motora, omjer brzina 2 : 1; b) pomoću otpornika (regulatora) u rotorskom krugu (regulacija neekonomična); opseg regulacije uz konstantni moment 1 : 0,8, uz moment koji se smanjuje proporcionalno s kvadratom brzine (ventilatori, pumpe, turbokompresori) 1 : 0,2; c) kaskadnim spojevima, opseg regulacije obično 3 : 1, ali može i do 10 : 1.

7. P r o m j e n a s m j e r a v r t n j e: Međusobnom zamjenom priključaka na dvije stezaljke statora.

8. E l e k t r i č n o k o č e n j e: a) Preklapanjem motora za protivni smjer vrtnje; b) korisno kočenje u nadsinhronoj brzini.

9. G r a n i c e i z v e d b e: Za snagu: do nekoliko hiljada kW. Za napon: do 15 000 V.

10. P r e d n o s t i: Prema kaveznim motorima: veći potezni moment i manja struja pokretanja, mogućnost kontinuirane regulacije brzine (samo neekonomično, osim u kaskadnim spojevima koji su skupi).

11. M a n e: Kontinuirana regulacija brzine neekonomična, slab cos φ u djelomičnim opterećenjima, skuplji od kaveznih motora.

12. U p o t r e b a: Kao i kavezni motori, samo tamo gdje je potreban veći potezni moment, manja struja pokretanja ili kontinuirana regulacija brzine.

III. Trofazni sihroni motori

1. P o k r e t a n j e: a) Pomoću posebnog kratko spojenog namota, i to direktno ili preko posebnog transformatora ili otpornika za pokretanje; b) pomoću posebnog asinhronog motora za pokretanje.

2. P o t e z n i m o m e n t u % nazivnog: 50 do 200%, ovisi o dimenzioniranju pomoćnog kratko spojenog namota i o načinu pokretanja.

3. S t r u j a p o k r e t a n j a u % nazivne: Obično 180 do 200%, ali vrlo jako ovisi o načinu pokretanja.

4. M a k s i m a l n i m o m e n t u % nazivnog: oko 150% uz cos $\varphi = 1$, oko 200% uz cos $\varphi = 0{,}8$. (Specijalne izvedbe 300, pa i 400%.)

5. S m a n j e n j e b r z i n e s opterećenjem: Nikakvo — brzina posve konstantna u svim opterećenjima (uz konstantnu frekvenciju) — (k r u t a k a r a k t e r i s t i k a).

6. R e g u l a c i j a b r z i n e: Nije moguća.

7. P r o m j e n a s m j e r a v r t n j e: Obično se ne izvodi. Može se izvesti međusobnom zamjenom priključaka na statoru na dvije stezaljke.

8. E l e k t r i č k o k o č e n j e: Nije moguće.

9. G r a n i c e i z v e d b e: Za snagu: od nekoliko vata do nekoliko hiljada kilovata (pa i više, do 40 000 kW). Za napon: od nekoliko volta do 15 000 V.

10. P r e d n o s t i (prema asinhronim motorima): a) cos $\varphi = 1$ ili kapacitivan (popravljač faze ili kompenzator faze) za sva opterećenja; b) nešto bolja korisnost; c) posve konstantna brzina (gdje je to važno).

11. M a n e (prema asinhronim motorima): a) Potreba izvora istosmjerne struje (sasvim mali motori rade s permanentnim magnetom); b) znatno viša cijena; c) znatno veća osjetljivost prema preopterećenju ili promjenljivom opterećenju; d) manji potezni moment.

12. U p o t r e b a: Za velike motore (uglavnom od kojih 100 kW naviše), osobito za visoki napon i za malu brzinu vrtnje gdje asinhroni motori imaju vrlo loš cos φ; b) za zagone ispod 100 kW gdje je potrebna posve konstantna brzina vrtnje; c) za razne sitne pogone s konstantnom brzinom vrtnje (npr. električni satovi).

IV. Trofazni sinhronizirani asinhroni motori

1. P o k r e t a n j e: Kao II/I.

2. P o t e z n i m o m e n t: Oko 200 do 250% od nazivnog zakretnog momenta.

3. S t r u j a p o k r e t a n j a: kao kod II/3.

4. M a k s i m a l n i m o m e n t u % nazivnog: Oko 150% uz cos $\varphi = 1$, oko 200% uz cos $\varphi = 0{,}8$. No ako motor zbog prevelikog momenta otpora ispadne iz koraka, on se može okretati dalje kao asinhroni motor (kod čega mu je prekretni moment oko 250%) pa opet uletjeti u sinhronizam kad se smanji moment otpora.

5. S m a n j e n j e b r z i n e s opterećenjem: Nikakvo (osim kad ispadne iz koraka, tada 2 do 6%) (k r u t a k a r a k t e r i s t i k a).

6. R e g u l a c i j a b r z i n e: Nije moguća.

7. P r o m j e n a s m j e r a v r t n j e: Obično se ne izvodi. Može se izvesti zamjenom priključaka na dvije stezaljke statora.

8. E l e k t r i č k o k o č e n j e: Obično se ne izvodi. Može se izvesti kao za asinhrone motore.

9. G r a n i c e i z v e d b e: Za snagu: od 20 kW do 5 000 kW; za napon: od 110 do 15 000 V.

10. P r e d n o s t i : a) Prema asinhronim motorima: kao sinhroni motori; b) prema sinhronim motorima: bolji potezni moment.

11. M a n e : Prema asinhronim motorima: kao za sinhrone motore b) do d). (Cijena otprilike jednaka cijeni sinhronog stroja.)

12. O s n o v n e k a r a k t e r i s t i k e : Za vrijeme pokretanja kao u asinhronih kolutnih motora, a u radu kao u sinhronih motora.

13. U p o t r e b a : Kao III/12. a) i b), ali tamo gdje je potreban jaki potezni moment, npr. veliki kompresori i pumpe, veliki mlinovi, veliki strojevi cementne industrije itd.

V. Trofazni poredni kolektorski motori napajani preko statora

1. P o k r e t a n j e : Direktnim priključkom na mrežu uz položaj regulatora za najmanju brzinu ili preko regulacionog transformatora.

2. P o t e z n i m o m e n t u % nazivnog: U položaju regulatora za najmanju brzinu: oko 150%, inače više.

3. S t r u j a p o k r e t a n j a u % nazivne. U položaju regulatora za najmanju brzinu: oko 175%, inače više.

4. M a k s i m a l n i m o m e n t : Oko 150% u najmanjoj brzini, oko 300% u najvećoj brzini (% od nazivnog momenta uz normalnu brzinu).

5. S m a n j e n j e b r z i n e s opterećenjem: Ako je brzina vrtnje normalna (srednja), tada kao u asinhronih motora; ako je najveća, nešto manje; ako je najmanja, nešto veće (t v r d a k a r a k t e r i s t i k a).

6. R e g u l a c i j a b r z i n e : Pomoću odvojaka na namotu statora (u stupnjevima), pomoću autotransformatora (također u stupnjevima) ili pomoću posebnog zakretnog transformatora (kontinuirano). Opseg regulacije obično do 3 : 1 (1,5 : 0,5).

7. P r o m j e n a s m j e r a v r t n j e : Zamjenom dvaju priključaka na statoru.

8. E l e k t r i č k o k o č e n j e : Pomicanjem regulatora prema položaju za najmanju brzinu. Daljnje kočenje u protuspoju.

9. G r a n i c e i z v e d b e : Za znagu: od 0,75 kW do kojih 1000 kW (srednja snaga 200 do 300 kW). Za napon od 220 do 3000 V (za veće motore).

10. P r e d n o s t i : a) Ekonomična regulacija brzine uz male promjene brzine s opterećenjem; b) mogućnost regulacije brzine iz izvjesne daljine od motora (za motore sa zakretnim transformatorom).

11. M a n e : Mnogo skuplji od asinhronih motora, lošija korisnost, veća osjetljivost, loš cos φ kad je opterećenje malo.

12. U p o t r e b a : Gdje je god potrebna regulacija brzine, osobito tamo gdje je potrebno da se ona vrši iz izvjesne daljine od motora (pumpe, ventilatori, tkalački strojevi, alatni strojevi, papirni strojevi, poljoprivredni strojevi).

VI. Trofazni poredni kolektorski motori napajani preko rotora

1. P o k r e t a n j e : Direktnim priključkom na mrežu uz položaj četkica za najmanju brzinu.

2. P o t e z n i m o m e n t : Oko 150% od nazivnog ili nešto više (do 200%).

3. S t r u j a p o k r e t a n j a : 125 do 175% od nazivne.

4. M a k s i m a l n i m o m e n t u % nazivnog: U najvećoj brzini oko 250 do 300%, u srednjoj brzini oko 200 do 230%, u najmanjoj brzini oko 130%. (Ako su četkice u položaju za najmanju brzinu, moment je to veći

što je brzina manja, a najveći kad motor stoji. Ako dakle zbog preopterećenja motor zapne, on će opet postići punu brzinu čim preopterećenja nestane.)

5. Smanjenje brzine s opterećenjem: Kao V/5.

6. Regulacija brzine: Pomicanjem četkica. Opseg regulacije normalno do 3 : 1 (1,5 : 0,5), specijalne izvedbe do 15 : 1, pa i više.

7. Promjena smjera vrtnje: Zamjenom priključaka na dvije stezaljke i pomicanjem četkica.

8. Električko kočenje: Pomicanjem četkica prema položaju za najmanju brzinu. Daljnje kočenje u protuspoju.

9. Granice izvedbe: Za opseg regulacije 3 : 1 od 2 do 200 kW, za opseg regulacije 1,5 : 1 do 400 kW. Najviše oko 11 kW po polu za velike strojeve, dakle motor od 100 kW mora imati barem 10 polova.
Za napon: do 500 V.

10. Prednosti: Kao V/10a).

11. Mane: Kao V/11 te nemogućnost izvedbe za više napone.

12. Upotreba: Gdje je potrebna regulacija brzine, npr. za kalandre, strojeve papirne industrije, štamparske prese, brza osobna dizala, pomoćne strojeve u kotlovnicama i dr.

VII. Trofazni serijski kolektorski motori

1. Pokretanje: Priključkom na mrežu direktno ili preko pokretača uz nulti položaj četkica te pomicanjem četkica (i isklapanjem pokretača).

2. Potezni moment: 150 do 300% od nazivnog zakretnog momenta (ovisi o položaju četkica).

3. Struja pokretanja: 150 do 400% (ovisi o momentu otpora kad se pokreće te prema tome o položaju četkica).

4. *Maksimalni moment: Oko 250% u sinhronoj brzini vrtnje,* oko 300% u najvećoj brzini, oko 150% u najmanjoj brzini.

5. Smanjenje brzine s opterećenjem: Veliko — meka karakteristika.

6. Regulacija brzine: Pomicanjem četkica. Opseg regulacije 2,4 : 1 (1,2 : 0,5).

7. Promjena smjera vrtnje: a) Pomicanjem četkica iz nultog položaja u obratnom smjeru; b) zamjenom priključaka na dvije stezaljke.

8. Električko kočenje: Kao VI/8.

9. Granice izvedbe: Za snagu do kojih 500 kW. Za napon: motor (ili bar njegov rotor) gotovo su uvijek priključeni preko posebnog transformatora. Prema tome može se preko transformatora priključiti i na visoki napon.

10. Prednosti: Mogućnost regulacije brzine uz meku karakteristiku motora (makar je jako opterećen, motor ne opterećuje jako mrežu jer smanjuje brzinu), odličan cos φ i kad je opterećenje malo.

11. Mane: Skupoća, kompliciranost.

12. Upotreba: Za dizalice, predilice, ventilatore, pumpe, kompresore, izvozne strojeve (u rudarstvu).

VIII. Jednofazni asinhroni motori

1. Pokretanje: a) Kavezni motori priključuju se direktno na mrežu ili pomoću statorskog pokretača; b) kolutni motori pomoću pokretača u rotorskom krugu; c) sasvim mali motori pokreću se ponekad rukom.

2. Potezni moment u % nazivnog: a) Motori s kratko spojenim svitkom na svakom polu: oko 30%; b) motori s otporskom pomoćnom fazom: 100 do 200%; c) kondenzatorski motori: 100 do 300%; d) motori bez vlastitog zaleta: 0.

3. Struja pokretanja u % nazivne: a) Motori s kratko spojenim svitkom na svakom polu, te b) motori s otporskom pomoćnom fazom: 400 do 800% (pa i više); c) kondenzatorski kavezni motori oko 250%, kondenzatorski kolutni motori oko 125%, kondenzatorski kolutni motori za liftove oko 200 do 250%.

4. Maksimalni moment: Oko 200% od nazivnog.

5. Smanjenje brzine s opterećenjem. Slično, ali nešto veće nego za I/5.

6. Regulacija brzine: a) Kavezni motori praktički se ne reguliraju; b) kolutni motori reguliraju se pomoću otpornika u rotorskom krugu.

7. Promjena smjera vrtnje: a) Motor bez vlastitog zaleta treba pokrenuti rukom u željenom smjeru; b) ostali motori: zamjenom priključaka na stezaljkama.

8. Električko kočenje: Korisno kočenje u nadsinhronoj brzini.

9. Granice izvedbe: Za snagu: a) kavezni motori od nekoliko vata do kojih 10 kW; b) kolutni motori od 1,5 do 50 kW (rijetko više). U nas se obje vrste motora upotrebljavaju samo za sasvim male snage (do najviše nekoliko kW, ali obično ne iznad 1500 W).

10. Prednosti: a) Prema jednofaznim kolektorskim (repulzionim) motorima: jednostavnost i jeftinoća; b) prema trofaznim asinhronim motorima: mogućnost jednofaznog priključka.

11. Mane: a) Prema jednofaznim kolektorskim (repulzionim) motorima: nemogućnost regulacije brzine (kavezni motori) ili neekonomična regulacija brzine (kolutni motori), manji potezni moment i (samo za neke pogone je mana, za druge prednost) tvrda karakteristika; b) prema trofaznim asinhronim motorima: veća skupoća, lošija korisnost, lošiji cos φ, nesimetrično opterećenje trofazne mreže, nejednoliki zakretni moment, veća osjetljivost.

12. Upotreba: a) Za sasvim male motore, npr. zidni i stolni ventilatori, električni alat, uredski strojevi, razni kućanski aparati; b) gdje nema mogućnosti trofaznog priključka.

IX. Jednofazni repulzioni motori

1. Pokretanje: Kao VII/1.

2. Potezni moment u % nazivnog: a) Motori s jednim slogom četkica: oko 300 do 400% ako su diretno priključeni na mrežu, odn. oko 250% ako su priključeni preko pokretača; b) motori s dva sloga četkica (Derijevi motori): oko 100 do 150% ako su četkice u položaju za malu brzinu, oko 300 do 400% ako su četkice u položaju za veliku brzinu.

3. Struja pokretanja u % nazivne: a) Motora s jednim slogom četkica: 200 do 400% ako su direktno priključeni na mrežu, oko 250% ako su priključeni preko pokretača; b) motori sa dva sloga četkica: oko 100 do 150% ako su četkice u položaju za malu brzinu, 250 do 300% ako su četkice u položaju za veliku brzinu.

4. Maksimalni moment: Oko 200 do 400% od nazivnog (ovisi o položaju četkica i vrsti motora).

5. Smanjenje brzine s opterećenjem: Vrlo veliko, osobito u maloj brzini. U punom opterećenju brzina spadne na kojih 60% (u velikoj brzini) do 30% (u maloj brzini) od brzine u praznom hodu. Meka karakteristika (osobito motora uzbuđenih preko rotora, sa 2 sloga četkica).

6. Regulacija brzine: Pomicanjem četkica.

7. Promjena smjera vrtnje: Motori s jednim slogom četkica pomicanjem četkica u obratnom smjeru i protuspojem uzbudnog namota. Motori sa 2 sloga četkica pomicanjem četkica.

8. Električko kočenje: Pomicanjem četkica prema položaju za manju brzinu.

9. Granice izvedbe: Za snagu: 0,3 do 50 kW, za napon do 500 V (pa i do 1000 V).

10. Prednosti: Prema jednofaznim asinhronim motorima: mogućnost regulacije brzine, veći potezni moment i (gdje je to važno) meka karakteristika.

11. Mane: a) Prema jednofaznim asinhronim motorima: skupoća; b) *prema trofaznim serijskim kolektorskim motorima:* loša korisnost i loš cos φ; veći jednofazni motori skuplji su od trofaznih.

12. Upotreba: Za liftove, kranove i druge dizalice te za druge reverzibilne i nereverzibilne pogone s teškim uvjetima pokretanja i približno konstantnim opterećenjem kad je priključak jednofazan.

X. Univerzalni motori (za izmjeničnu i istosmjernu struju)

0. Spoj: Kao u istosmjernog serijskog motora, ali su polovi sastavljeni od paketa limova zbog izmjeničnog magnetskog polja (kad je motor priključen na izmjeničnu struju).

1. Pokretanje: Direktnim priključkom na mrežu.

2. Potezni moment: 200 do 300% od nazivnog zakretnog momenta.

3. Struja pokretanja: 300 do 400% od nazivne.

4. Maksimalni moment: 200 do 300% od nazivnog.

5. Smanjenje brzine s opterećenjem: Veliko — meka karakteristika, *slična karakteristici istosmjernih serijskih motora.* (Karakteristike za priključak na istosmjernu i za priključak na izmjeničnu struju nešto se razlikuju, tolerancija obično ±10 do 15%.)

6. Regulacija brzine: Uvijek neekonomična: a) pomoću predotpornika, opseg regulacije obično do 2,2 : 1, ili kombinacijom paralelnog otpornika i predotpornika u Dahlanderovu spoju (brzina npr. 3000, 6000 i 10 000 okr/min).

7. Promjena smjera vrtnje: Zamjenom stezaljki A i B kao u istosmjernih serijskih motora (vidi shemu spoja u 142).

8. Električko kočenje: Ne izvodi se.

9. Granice izvedbe: Za snagu: obično 10 do 500 vata. Za napon do 220 V.

10. Prednosti: Mogućnost priključka na izmjeničnu i istosmjernu struju, veliki moment pokretanja, odličan cos φ.

11. Mane: Mala korisnost.

12. Upotreba: Za ručne alatne strojeve (ručne bušilice, brusilice, pile, škare i dr.), za kućanske sprave (strojevi za pranje rublja, usisači prašine, laštilice za parkete, sušila za kosu i dr.), za uredske strojeve, registrirne blagajne, šivaće strojeve, ventilatore itd.

XI. Istosmjerni poredni motori

1. Pokretanje: Pomoću pokretača (otpornika) u krugu armature (rotora), uz uzbudni namot spojen na puni napon.

2. Potezni moment: Do 200% od nazivnog.

3. Struja pokretanja u % nazivne: Za pokretanje s pola tereta 65 do 75%, za pokretanje s punim teretom 130 do 150%, za teško pokretanje 170 do 200%.

4. Maksimalni moment: Oko 300% od nazivnog.

5. Smanjenje brzine s opterećenjem: 1 do 5% (rijetko više) do punog opterećenja, tvrda karakteristika.

6. Regulacija brzine: a) Mijenjanjem uzbude pomoću regulatora (otpornika) u uzbudnom krugu, opseg regulacije obično ne preko 3 : 1, regulacija ekonomična. b) Pomoću otpornika u krugu armature, regulacija neekonomična, brzina se s opterećenjem to jače smanjuje što je uklopljen veći dio otpornika za reguliranje (karakteristika prestaje biti tvrda).

7. Promjena smjera vrtnje: Vidi shemu spoja porednog motora u 142: a) zamjenom stezaljki A i B; b) zamjenom stezaljki C i D.

8. Električko kočenje: a) Pomoću otpornika: Armatura se otklopi od mreže i radi kao generator s nezavisnom uzbudom na otpornik za kočenje. b) U protuspoju: Motor se preklopi za protivni smjer vrtnje. c) Korisno kočenje: Motor se okreće brže od normalne vrtnje (npr. kad se dizalo spušta) i radi kao generator u mrežu.

9. Granice izvedbe: Za snagu: do nekoliko hiljada kW. Za napon do kojih 1500 V.

10. Prednosti: Kontinuirana i ekonomična regulacija brzine, malo mijenjanje brzine s opterećenjem, dobra korisnost.

11. Mane: Poteškoća u dobivanju istosmjerne struje, skuplji i osjetljiviji od trofaznih asinhronih motora (zbog kolektora), opasnost da »pobjegne« (u praznom hodu ako je slabo uzbuđen).

12. Upotreba: Za radne strojeve (gdje je potrebna znatna regulacija brzine, gdje je faktor iskorišćenja velik), za papirne strojeve, za štamparske strojeve, za razne dizalice i dr. (Najjednostavniji motor za kontinuiranu regulaciju brzine.)

XII. Istosmjerni serijski motori

0. *Osnovna karakteristika: Smije raditi samo opterećen* jer inače »pobjegne«.

1. Pokretanje: Pomoću pokretača (otpornika) spojenog u seriju s namotima armature (rotora) i magneta.

2. Potezni moment: Do 350% od nazivnog zakretnog momenta.

3. Struja pokretanja: Kao XI/3.

4. Maksimalni moment: Oko 350% od nazivnog.

5. Smanjenje brzine s opterećenjem: Vrlo veliko. Meka karakteristika.

6. Regulacija brzine: a) Mijenjanjem uzbude (ekonomična regulacija), i to pomoću promjenljivog porednog otpornika uz uzbudni namot ili pomoću odvojaka na uzbudnom namotu. b) Pomoću promjenljivog otpornika spojenog u seriju s namotima armature i magneta (neekonomična regulacija). c) Preklapanjem dvaju motora na istoj osovini iz serijskog spoja u paralelni i obratno (ekonomična regulacija, ali samo u 2 stupnja; obično se kombinira s regulacijom pod b).

7. Promjena smjera vrtnje: Vidi shemu spoja serijskog motora u 142: a) zamjenom stezaljki A i B; b) zamjenom stezaljki E i F; c) zamjenom stezaljki A i H.

8. Električko kočenje: a) Pomoću otpornika: Motor se otklopi od mreže i radi kao serijski generator na otpornik za kočenje. b) U protuspoju: Motor se preklopi za obratni smjer vrtnje. c) Pomoću otpornika u nezavisnom spoju: Uzbudni namot se preklopi i spoji preko otpornika na mrežu. Armatura (rotor) odvoji se od mreže i spoji preko drugog otpornika. Stroj radi na ovaj otpornik kao generator s nezavisnom uzbudom.

9. Granice izvedbe: Za snagu: do nekoliko hiljada kW. Za napon: do 3000 V.

10. Prednosti: Meka karakteristika, gdje je važno da motor — iako je preopterećen — ne opterećuje jako mrežu, a nije važno da se sporije vrti; mogućnost ekonomične regulacije brzine, dobra korisnost. (Najbolji motor s mekom karakteristikom.)

11. Mane: Poteškoća u dobivanju istosmjerne struje.

12. Upotreba: Osobito za električnu vuču (električne željeznice, tramvaji, trolejbusi, elektrokari, dizalice i dr.).

XIII. Istosmjerni kompaundni motori

1. Pokretanje: Pomoću pokretača (otpornika) u krugu armature (rotora), uz poredni uzbudni namot spojen na puni napon.

2. Potezni moment u % nazivnog: a) Slabo kompaundirani motori (mali serijski uzbudni namot) oko 200%; b) jako kompaundirani motori (veliki serijski uzbudni namot) oko 300%.

3. Struja pokretanja: Kao XI/3.

4. Maksimalni moment: Kao XIII/2 200 odn. 300% od nazivnog.

5. Smanjenje brzine s opterećenjem: Između karakteristike porednog i serijskog motora, što ovisi o stepenu kompaundacije.

6. Regulacija brzine: a) Mijenjanjem uzbude; b) pomoću otpornika.

7. Promjena smjera vrtnje: Vidi shemu spoja kompaundnog motora u 142: a) zamjenom stezaljki A i B; b) zamjenom stezaljki A i H; c) zamjenom stezaljki C i D te E i F.

8. Električko kočenje: a) Pomoću otpornika: Rotor se otklopi od mreže pa stroj radi kao generator na otpornik za kočenje. b) U protuspoju: Motor se preklopi za obratni smjer vrtnje. c) Korisno kočenje (rijetko): Motor se okreće brže od normalne brzine vrtnje i radi kao generator u mrežu. (Samo slabo kompaundirani motori). Serijski uzbudni namot treba preklopiti ili isklopiti.

9. G r a n i c e i z v e d b e : Za snagu: do nekoliko hiljada kW. Za napon: do kojih 1500 V.

10. K a r a k t e r i s t i k e : Između porednog i serijskog motora. Kojem se motoru po karakteristikama više približava, ovisi o stupnju kompaundacije (omjeru serijskih i porednih amperzavoja).

11. U p o t r e b a : Za razne teške pogone, osobito u vezi sa zamašnjakom, gdje se kompaundacijom postiže jače opadanje brzine s opterećenjem, a time bolje iskorišćenje zamašnjaka.

Nazivni zakretni momenti motora **136**

Brzina vrtnje okr/min	Kod nazivne snage motora									
	1kW	2kW	3kW	4kW	5kW	6kW	7kW	8kW	9kW	10 kW
	nazivni zakretni moment u kpm iznosi									
3000	0,32	0,65	0,97	1.30	1,62	1,95	2,27	2,60	2,92	3,24
1500	0,65	1,30	1,95	2,60	3,24	3,89	4,54	5,19	5,84	6,49
1000	0,97	1,95	2,92	3,89	4,87	5,84	6,82	7,79	8,77	9,74
750	1,30	2,60	3,89	5,19	6,48	7,79	9,08	10,4	11,7	13,0
600	1,62	3,24	4,87	6,49	8,11	9,74	11,4	13,0	14,6	16,2
500	1,95	3,89	5,84	7,79	9,74	11,7	13,6	15,6	17,5	19,5
300	3,24	6,49	9,74	13,0	16,2	19,5	22,7	26,0	29,2	32,4

Vrijednosti u tablici izračunate su po formuli $M = 974\ P/n$, gdje je M u kpm, P u kW, n u okr/min, a vrijede za sinhrone motore. Za asinhrone motore one su zbog manje brzine manje (2 do 10%) te se mogu izračunati pomoću navedene formule.

Regulacija brzine asinhronih motora **137**

1. Regulacija preklapanjem broja polova: Regulacija ekonomična, ali samo u grubim stepenima (2 do 4 stepena npr. 1440/2880 okr/min).

2. Regulacija uklapanjem otpora u strujni krug rotora: moguća praktički kontinuirana regulacija, ali neekonomična; naročito neekonomična je ta regulacija ako motor tjera stroj kojem protumoment ne opada sa brzinom. Sa smanjenjem brzine smanjuje se i zakretni moment i snaga motora:

Brzina vrtnje %	100	90	80	70	60	50	40
Zakretni moment %	100	96	91	85	80	72	62
Snaga %	100	86	73	60	48	36	25

U navedenim vrijednostima uzeto je u obzir i smanjenje snage zbog lošije ventilacije. Prekretni moment ostaje jednak u svim brzinama.

138

Orijentacione vrijednosti za korisnost i faktor snage

za trofazne asinhrone motore

Grubo približno može se uzeti da korisnost trofaznih asinhronih motora kad su potpuno opterećeni iznosi:

snaga motora	0,1	0,3	1	5	15	50	100	500 kW
korisnost	60	70	76	85	88	91	93	93,5 %

Korisnost zaštićenih i zatvorenih motora te kaveznih i kolutnih motora ne razlikuje se mnogo, a jednako ni broj polova ne utječe znatno na korisnost.

Faktor snage bitno ovisi o izvedbi motora i broju polova. Grubo približne vrijednosti daje ovaj pregled:

Vrst motora	Broj polova	Faktor snage u potpunom opterećenju ako je nazivna snaga kW							
		0,1	0,3	1	5	15	50	100	500
Zaštićeni kavezni motori	2	0,77	0,79	0,83	0,88	0,88	0,88	0,89	
	4	0,70	0,71	0,80	0,83	0,85	0,88	0,88	
	6		0,66	0,77	0,81	0,84	0,87	0,87	
	8		0,64	0,70	0,78	0,81	0,85	0,86	
Zaštićeni dvokavezni motori	2					0,87	0,89	0,90	
	4				0,81	0,85	0,87	0,89	
	6			0,71	0,75	0,85	0,87	0,87	
	8				0,73	0,82	0,85	0,87	
Zaštićeni kolutni motori	2					0,88	0,90	0,90	
	4			0,75	0,82	0,85	0,88	0,89	
	6			0,73	0,81	0,83	0,87	0,88	
	8				0,74	0,82	0,86	0,87	
Zatvoreni kavezni motori	2	0,74	0,81	0,88	0,84	0,85	0,86		
	4		0,76	0,81	0,84	0,84	0,85		
	6		0,74	0,75	0,76	0,80			
	8			0,70	0,74	0,79			
Zatvoreni dvokavezni motori	2					0,85	0,88	0,89	0,90*
	4					0,84	0,86	0,88	0,88*
	6				0,77	0,82	0,84	0,86	0,86*
	8				0,75	0,80	0,83	0,85	0,85*
Zatvoreni kolutni motori	2						0,89	0,90	0,90*
	4				0,80	0,84	0,88	0,89	0,89*
	6				0,78	0,82	0,86	0,87	0,87*
	8				0,76	0,79	0,84	0,86	0,85*

* Motori za 3 do 6 kV.

Korisnost i faktor snage kad je opterećenje djelomično (orijentaciono)

Korisnost u % kad je opterećenje						Faktor snage kad je opterećenje					
1/4	2/4	3/4	4/4	5/4	6/4	1/4	2/4	3/4	4/4	5/4	6/4
88	92,5	93,5	94	93,5	92,5	0,60	0,80	0,87	0,90	0,91	0,91
86	91	92	92	91,5	90,5	0,55	0,75	0,84	0,88	0,89	0,90
82	88	90	90	89	87	0,51	0,71	0,81	0,86	0,88	0,89
79	86	88,5	88	86,5	84,5	0,48	0,68	0,79	0,84	0,87	0,88
76	85	87	86	84,5	82	0,44	0,65	0,77	0,82	0,85	0,86
74	83	85	84	82,5	80	0,42	0,62	0,74	0,80	0,84	0,85
71	80	82,5	82	80,5	78	0,39	0,60	0,71	0,78	0,82	0,84
69	78	80,5	80	78,5	76	0,37	0,57	0,69	0,76	0,80	0,83
66	75,5	78,5	78	76,5	74	0,35	0,54	0,66	0,74	0,79	0,81
63	73	76	76	74	71	0,34	0,52	0,63	0,72	0,77	0,80
61	71	74	74	72	69	0,33	0,49	0,61	0,70	0,75	0,79
58	68	72	72	70	67	0,32	0,47	0,58	0,68	0,74	0,77
55	66	70	70	68	65	0,31	0,45	0,56	0,66	0,72	0,76
48	60	64	65	63	60	0,30	0,44	0,54	0,64	0,71	0,75
40	53	58,5	60	58,5	54	0,29	0,42	0,52	0,62	0,69	0,74

POTREBNA SNAGA MOTORA ZA RAZLIČITE POGONE

(približne prosječne vrijednosti)

1. Alatni strojevi

Vrst strojeva	Formula za izračunavanje potrebne snage motora u kW	Obične granice kW
Tokarilice	$h/140$ h - visina šiljaka u mm)	0,4 — 3
Čeone tokarilice	$d_m/400$ do $d_m/680$ (d_m - najveći promjer obrađivanog predmeta u mm)	1,5 — 8
Karuselne tokarilice	$d_m/190$ (d_m - najveći promjer obrađivanog predmeta u mm)	1,5 — 12
Revolverske tokarilice	$d/14$ (d - promjer šipke u mm, od koje se izrađuje predmet)	0,7 — 2,3
Bušilice	$d/20$ (d - promjer bušotine u mm)	0,1 — 2
Glodalice	$S/1400$ (S - površina stola u cm^2)	0,1 — 5
Strojevi za obradu zupčanika	$m/2,5$ (m - najveći modul)	1,1 — 4
Kružne pile za hladno rezanje	$d/140$ (d - promjer pile u mm)	1 — 8
Okvirne pile za hladno rezanje	$s/220$ (s - stapaj u mm)	
Uzdužni strugovi	$b/200$ (b - širina struganja u mm) ili $2\,l$ (l - duljina struganja u mm)	
Poprečni i odbojni strugovi	$s_m/140$ (s_m - najveći stapaj u mm)	
Kolutne brusilice	$d/40$ do $d/55$ (d - promjer brusnog koluta u mm)	5 — 15

Škare i strojevi za probijanje rupa

Debljina lima mm	8	10	15	20	25	30	40
Promjer rupe mm	16	20	22	26	30	35	40
Potrebna snaga kW	1,5	2,2	4	6	9	13	18

Strojevi za savijanje limova (širina lima do 3000 mm)

Potrebna snaga kW	12	15	20	25	30
Debljina lima mm	7,5	9	13	20	30

Strojevi za ravnanje limova

Debljina lima mm	6	10	15	20	25	30	35	40
Širina lima mm	1200	1300	1500	1800	2200	2600	3000	3500
Potrebna snaga kW	4,5	6	9	15	22	40	65	95

Uglavnom prema O. F. Horvat, Mehanička tehnologija, II. dio, Tehnička knjiga, Zagreb.

2. Strojevi za obradu drva

Vrst strojeva	Veličina			Snaga motora
	Širina okvira	Stapaj	okr/min	kW
Vertikalne jarmače (gateri)	400 mm	300 mm	250	6
	600 „	450 „	230	9
	800 „	500 „	200	12
	1000 „	600 „	170	15
Horizontalne jarmače (gateri)	600 „	470 „	330	2,5
	900 „	600 „	270	4,5
	1200 „	800 „	210	6,5
	1500 „	950 „	150	9
Klatne pile	promjer = 500 do 900 mm			1,5—3,5
Kružne pile	promjer = 400 do 900 mm			2—4
Tračne pile	Visina reza 100 mm			1,5
Tokarilice za drvo				0,4—1,5
Blanjalice s jednom osovinom	Širina drveta 750 do 1000 mm			3,5—5,5
Bušilice za drvo				0,3—3

Uglavnom prema H. Tolksdorf, Elektrotehnisches Tabellenbuch.

3. Poljoprivredni strojevi*

Vrst i opis stroja	Proizvođač	Učin q/h	Snaga motora kW
a) Vršalice			
Jednostruka s istresaljkama i bez njih	Sentjurj pri Celju	4 — 5	3
Složena sa 2 čišćenja	Sentjurj pri Celju	3,5 — 4,5	3,7
Složena	Zmaj, Zemun	3,5—4	4,5
Složena sa 2 čišćenja	Zmaj, Zemun	5 — 7	9
Složena sa 2 čišćenja i uređajem za vršenje djeteline	Zmaj, Zemun	18 — 20	15
Složena sa 2 čišćenja	Poljoprivrednik, Sombor	18 — 20	30
Složena sa 2 čišćenja i dodavačem snopova	Zmaj, Zemun	30 — 40	22
b) Sječkarice i silosječkarice			
Silosječkarica »Tempo« sa duvačem na visinu do 8 m	TPS, Maribor	24	6
Sječkarica-čehalica »Mamut I« za punjenje silo-jama	TPS, Maribor	12	11
Sječkarica-čehalica »Mamut II« sa duvačem do 5 m	TPS, Maribor	90	19

* Prema publikaciji Elektromotori u poljoprivredi, izdanje »Rade Končar«, Zagreb 1960.

c) Mehaničko muženje krava

Tip uređaja (Belje)	EN 2/55	EN 4/55	EN 6/55
Broj muzlica	1—2	4	6
Snaga elektromotora	0,5	1	2 kW

d) Vinogradarski i podrumarski strojevi

Vrst i opis stroja	Proizvođač	Učin t/h	Snaga motora kW
Muljača za grožđe s izdvajačem peteljki i centrifugalnom pumpom	Jastrebac, Niš	5	4
Isto, ali sa stapnom pumpom	„ „	7	6
Muljača, ocjeđivač	„ „	10	7,5
Hidraulička preša za grožđe i voće	„ „	3	1,1
Rastresivač komine s elevatorom	„ „	1	2,4
Muljača za grožđe s ugrađenom muljačom, kontinuirana	Metal, Vršac	2	3

e) Uređaji za kišu*

Broj rasprskivača	Duljina cijevi m	Količina vode l/min	Visina dizanja m	Za koliko ha	Snaga motora kW
1	100	300	50	5	6
2	180	500	35	10	6
2	300	500	70	10	15
3	400	900	50	15	15
4	600	1100	70	15	18,5
6	680	1500	60	30	33
6	1060	1560	90	36	35

f) Ostali poljoprivredni strojevi

Vrst stroja	Učin	Snaga motora kW
Ventilator u staji		0,2
Usisač za čišćenje životinja		0,2
Stroj za šišanje ovaca		0,2
Stroj za sortiranje jaja		0,2
Sortirač za krumpir	50 q/h	0,7
Uređaj za mehaničko doziranje stočne hrane	20 q/h	0,8
Mala ledara (proizv. »Jugostroj, Rakovica)	180 kg/24 h	0,84
Stroj za gnječenje zaparenog krumpira	10 q/h	1,1
Repara s horizontalnim rotorom	50 q/h	1,5
Drobilica za uljane pogače	4—5 q/h	1,5
Brusilica za kosu		1,5
Bučkalica za maslac	80 kg/h	2
Ljuštilica za djetelinu	0,3—0,4 q/h	2,2

* Jugosl. proizvođači: Metalski zavod »Tito« Skopje, TPS »Belje« Kneževo, »Agroindus« Ljubljana.

4. Razni strojevi

Vrst strojeva	Formula za izračunavanje snage u kW	Snaga motora* kW
Ciglane		
Rezalice za glinu	m^3 gline dnevno/8	3,5 — 8
Preše za ciglu	broj opeka dnevno/70	3 — 13
Razni opći strojevi		
Teretne dizalice sa protutegom	(nosivost u kp × brzina u m/s) : 120	2 — 8
Osobne dizalice sa protutegom	(broj osoba × m/s) : 1,6	2 — 6
Dizalice općenito	$P = \frac{Fv}{1{,}02\,\eta}$ P-snaga motora (kW), F-nosivost (kp), v-brzina dizanja (m/s), η-cjelokupna korisnost (%) η = 35—60% (kod pužnih prijenosa)	

Vrst strojeva	Formula za izračunavanje potrebne snage motora u kW
Pumpe za vodu	$P = k\,\frac{Qh}{1{,}02\,\eta}$ P-snaga motora (kW), Q-kapacitet pumpe (l/s), h-manometrička visina (geodetska visina + gubici, m), k-faktor rezerve (obično se uzima k = 1,2 za velike pumpe, k = 1,3 za male pumpe), η-korisnost (%). Korisnost η: Centrifugalnih pumpi s usmjerenim difuzorom η = 78—90 % Centrifugalnih pumpi s difuzorom za slobodni protok η = 74—87 % Centrifugalnih pumpi bez difuzora η = 70—85 % Stapnih pumpi, obično η = 80—85 % Stapnih pumpi, malih ili vrlo brzih η = 70—75 % Stapnih pumpi velikih i srednjih η = 85—93 %
Ventilatori	$P = k\,\frac{Qh}{1{,}02\,\eta}$ P-snaga motora (kW), Q-količina zraka (m^3/s), h-tlak (mm H_2O). k-faktor rezerve (obično se uzima k = 1,2), η-korisnost (%). $\eta \approx 30$ % za snage do ≈ 1 kW $\eta \approx 40$ % za snagu ≈ 5 kW $\eta \approx 45$ % za snagu ≈ 10 kW $\eta \approx 50$ % za snagu ≈ 100 kW

* Za one veličine strojeva koje se najviše upotrebljavaju. Ima većih i manjih strojeva.

4) Razni strojevi (nastavak)

Vrst strojeva	Snaga motora* kW	Vrst strojeva	Snaga motora* kW
Tekstilni strojevi		**Građevinski strojevi**	
Razboji obični	0,15—0,2	Mješalice za beton	2,5—4,5
Razboji srednji	0,25—0,4	Strojevi za žbuku	~3,5
Razboji veliki	0,4—0,8	Drobilice za kamen sa sitom (2—4,5 m^3/h)	15—25
Razboji Jaquardovi	0,25—0,8		
Predilice	0,4—2	**Štamparski strojevi**	
Šivaći strojevi	0,075—0,2	Zaklopni strojevi	1—1,5
Krojački strojevi	0,25—0,5	Brzotiskarski strojevi	0,8—2
		Dvobrzinski štamparski strojevi	1,5—3,8
Razni obrtnički strojevi		Jednostruki rotacioni strojevi	4,5—5,5
Brusilice za noževe	0,4—0,8		
Knjigovezni strojevi	0,4—0,8	Dvojni rotacioni strojevi	~10

Mlinski strojevi

Prosta meljava na kamenju:

Promjer kamenja mm	Učin kg/h prekrupa	Učin kg/h izmeljavanje	Snaga motora kW
700	200	70	2,5
1100	350	160	3,5 — 5,5
1350	500	300	5,5 — 7,5

Visoka meljava na valjcima:
Promjer valjaka 250 mm

Duljina valjaka		400	600	800	1000	1500
Pšenična prekrupa	učin kg/h	500—700	750—1100	1000—1400	1200—1800	1800—2500
	snaga motora kW	0,7—1	1,3—1,7	1,8—2,2	2,2—3	3,3—4
Izmeljavanje krupice i mliva	učin kg/h	150—200	240—330	300—400	400—550	—
	snaga motora kW	1—1,5	1,8—2,2	2,5—3,3	3—3,7	—

Ako je promjer valjaka 220 mm, potrebna snaga motora je oko 15% manja, za valjke 300 mm oko 20% veća, za 350 mm oko 40% veća.

Meljava na čekićarima:

Tip mlina	Proizvođač	Učin kg/h	Snaga motora kW
MČ 12	Poljoprivrednik, Sombor	250	5,3
MČ 14	Zmaj, Zemun	300—500	4,5
MČ 16	Poljoprivrednik, Sombor	500—600	7,6
MČ 20	Poljoprivrednik, Sombor	600	7,6
Drava	OLT, Osijek	400—800	9,0
MČ 34	Zmaj, Zemun	1000—1500	11,4

Za prekrupljivanje 100 kg zobi, ječma i kukuruza troši se 0,75—1 kWh, za grubo mljevenje 100 kg žita 1 kWh, za srednje fino 1,5 kWh, za fino 2 kWh.

* Za one veličine strojeva koje se najviše upotrebljavaju. Ima većih i manjih strojeva.

140 a

Smetnje i kvarovi na trofaznim asinhronim motorima

Opažanje odn. ispitivanje	Uzrok smetnje odn. kvara	Ispomoć
I. Smetnje u okretanju		
1. Motor se ne pokreće.	a) Prekid u dovodu (npr. jedan osigurač pregorio ili je isklopila motorska zaštitna sklopka). b) Prekid u statorskom krugu (motor potjeran rukom okreće se u oba smjera). c) Prekid u rotorskom krugu.	a) Pregledaj i izmijeni pregorjele osigurače. Pogledaj zaštitnu sklopku da li je ispravno udešena te je uklopi. Ispitnom žaruljom ili voltmetrom ispitaj da li je na stezaljkama motora puni napon. Ako nije, ispitaj dovode i sklopku zvijezda-trokut te ukloni prekid. b) Pronađi pomoću ispitne žarulje ili galvanoskopa mjesto prekida i uspostavi spoj. Po potrebi daj motor na popravak. c) Pregledaj da li četkice i opruge na pokretaču dobro priležu. Podigni četkice te ispitaj pokretač, dovode i rotor nema li prekida. Mjesto prekida u otpornicima pokretača premosti ili izmijeni pokretač. Pogledaj da li klizni koluti imaju dobar kontakt s namotom. Po potrebi daj motor na popravak.
2. Motor se teško pokreće, kad je opterećen, brzina vrtnje mu je manja od nazivne. Ako je uzrok kao pod b) do d), motor se ne da preopteretiti.	a) Motor je preopterećen kad se pokreće (osobito kavezni motor). U praznom hodu motor se pokreće normalno. b) Stator je spojen u zvijezdu, a motor je građen za spoj u trokut za taj napon. c) Jedna faza statora je obratno spojena. d) Sklopka zvijezda-trokut je pogrešno spojena.	a) Smanji opterećenje u pokretanju. Ako to nije moguće, nabavi kolutni motor. b) Izmijeni spoj. c) Ispitaj i izmijeni spoj. d) Pregledaj i ispravi spoj prema shemi u 143.

3. Motor se teško pokreće, jako bruji u pokretanju i brzo se jako ugrije ili osigurači pregore odn. isklopi zaštitna sklopka.	Istrošeni klizni ležajevi ili lom u kugličnom ležaju. Rotor struže po statoru.	Pregledaj ležajeve da li osovina u ležaju ima zračnosti u smjeru vlaka remena ili u okomitom smjeru. Ako da, promijeni blazinicu odnosno stavi novi kuglični ležaj.
4. Makar je opterećenje malo, brzina vrtnje je manja od nazivne i jako koleba. Struja koju motor uzima jako pulzira. Motor bruji i slabo vuče.	Loš kontakt u rotorskom krugu.	Pregledaj da li četkice i opruge na pokretaču dobro priležu. Pregledaj sve spojeve (na pokretaču, spoj namota s kliznim kolutima, spojeve na motoru, spojeve na kratkospojnim prstenima kaveznog rotora i ukloni slab kontakt. Po potrebi daj motor na popravak.
5. Motor radi s polovinom brzine, jako bruji, osobito u pokretanju, i brzo se jako ugrije ili osigurači pregore odn. isklopi zaštitna sklopka.	Prekid u jednoj fazi rotora.	Kao 1 c.
6. Promjena brzine od praznog hoda do punog opterećenja je prevelika. (Brzina u punom opterećenju je manja od nazivne.)	Otpor rotora prevelik, npr. zbog a) predugih ili pretankih spojnih vodova između rotora i pokretača, ili b) zbog istrošenih kliznih koluta, ili c) zbog neispravnog pokretača i dr.	a) Pojačaj dovode odnosno premjesti pokretač bliže k motoru. b) Otokari klizne kolute. c) Uredi pokretač.
7. Motor se okreće u obratnom smjeru.	Obratan redoslijed faza.	Izmijeni međusobno priključak dvije faze na statoru.

Smetnje i kvarovi na trofaznim asinhronim motorima (nastavak)

Opažanje odn. ispitivanje	Uzrok smetnje odn. kvara	Ispomoć
II. Iskrenje četkica Iskrenje svih ili dijela četkica. Neke četkice i njihova armatura jako se griju i nagaraju.	a) Četkice nisu dobro izbrušene ili različito prianjaju na klizne kolute. b) Klizni koluti i četkice su zamazane. c) Klizni koluti su neravni ili neokrugli. d) Premalen broj ili premalen presjek četkica. e) Neprikladan materijal četkica. f) Nejednolika razdioba struje između pojedinih četkica zbog lošeg kontakta na držačima četkica ili u dovodima, zbog nejednolikog prianjanja četkica ili zbog različitih vrsti četkica.	a) Izbrusi dobro četkice smirkovim platnom. Očisti okvire da četkice u njima ne zapinju. Izjednači pritisak opruga. Po potrebi uzmi manje četkice koje se slobodno pomiču u okviru. b) Očisti klizne kolute i četkice benzinom, po potrebi izbrusi klizne kolute i četkice smirkovim platnom. Izvidi da li se klizni koluti ne prljaju od ulja koje izlazi iz ležaja, pa to spriječi. c) Izbrusi klizne kolute pomoću uređaja za brušenje ili ih otokari. d) Povećaj broj četkica ili postavi četkice većeg presjeka. e) Naruči četkice koje odgovaraju tom motoru. f) Pregledaj i uredi sve kontakte. Izjednači pritisak opruga. Uzmi sve četkice iste vrste, a ako to nije moguće, raspodijeli ih tako da na svakom kliznom kolutu budu četkice samo jedne vrsti.
III. Isklapanje motora odnosno ugrijavanje 1. Kad uklopimo motor, pregaraju jedan ili više osigurača, odnosno motorska zaštitna sklopka smjesta isklapa motor.	a) Kratki spoj u dovodu od osigurača, odnosno od zaštitne sklopke do motora. b) Kratki spoj u spojnom vodu između rotora i pokretača ili kratki spoj između dva držača četkica. c) Kratki spoj između dviju faza statorskog namota, odnosno spoj jedne faze s tijelom (masom).	a) Odriješi dovod od priključne ploče na motoru i ispitaj međusobno pojedine vodiče dovoda. Odstrani kratki spoj. b) Odriješi priključak na pokretač. Četkice izoliraj od kliznih koluta umecima kartona ili drva. Ispitaj vodiče međusobno. Odstrani kratki spoj. c) Odriješi dovod od priključne ploče na motoru i ukloni spojeve između stezaljki. Ispitaj izolaciju pojedinih faza međusobno i prema tijelu motora. Ako na taj način ustanoviš kratki spoj

	d) Kratki spoj između dviju faza rotorskog namota, odnosno kratki spoj između dvaju kliznih koluta.	između namota ili spoj s tijelom, daj motor u radionicu ili tvornicu na popravak. d) Podigni četkice od kliznih koluta. Skini remen s remenice. Uklopi motor. Ako se motor pokrene, onda je kratki spoj između dviju faza. Daj motor na popravak.
2. Cijeli se motor jako grije. Eventualno pregaraju osigurači ili se zaštitna sklopka isklapa.	a) Preopterećenje stroja. (Izmjeri opterećenje ampermetrom, ne vatmetrom.) b) Ventilacioni kanali u stroju su onečišćeni, pa time donekle začepljeni. Filtar za zrak onečišćen. Na aktivnom željezu i namotu stvorila se naslaga finih vlakana i prašine (često u tekstilnoj industriji i mlinovima). c) Motor se okreće na obratnu stranu od one za koju je građen ventilator ugrađen u nj (ventilator ima svinuta krila). d) Napon na stezaljkama motora prenizak. e) Temperatura prostorije je previsoka ili sunčane zrake udaraju direktno na motor.	a) Smanji opterećenje. Ako to nije moguće, pokušaj pojačati ventilaciju motora. Ako ni to nije moguće, ili ako se motor još uvijek previše grije, nabavi jači motor. b) Temeljito očisti motor (i filtar za zrak) te ga propuši komprimiranim zrakom (oko 2,5 atp). c) Promijeni smjer vrtnje motora ili prekreni krila ventilatora. d) Ako možeš, povisi napon (npr. tako da na pojnom transformatoru prespojiš preklopku). Ako ne, treba premotati motor za niži napon ili uzeti jači motor. e) Pobrini se za bolju ventilaciju prostorije. Zakloni motor.
3. Aktivno željezo statora jako se grije.	a) Napon na stezaljkama motorá je viši od nazivnog. b) Statorski namot je spojen u trokut umjesto u zvijezdu. c) Motor je za 60 Hz (američki motor), a priključen je na mrežu od 50 H.	a) Ako možeš, snizi napon (npr. tako da na pojnom transformatoru prespojiš preklopku). Ako ne, treba premotati motor za viši napon ili nabaviti drugi motor za viši napon. b) Prespoji statorski namot u zvijezdu. c) Treba premotati motor ili nabaviti novi motor za frekvenciju mreže.

Smetnje i kvarovi na trofaznim asinhronim motorima (nastavak)

Opažanje odn. ispitivanje	Uzrok smetnje odn. kvara	Ispomoć
4. Namot statora se mjestimično jako grije. Motor uzima veliku struju (različitu po pojedinim fazama), slabo vuče, jako bruji.	a) Spoj među zavojima u namotu statora. b) Kratki spoj između dviju faza. c) Jedan ili nekoliko svitaka obratno spojeni.	a) Mjesto kvara ustanovi po jakom ugrijanju kratko spojenih zavoja. Treba izmijeniti oštećeni svitak ili premotati cijeli motor.* b) Kao 1 c. c) Ispitaj i izmijeni spoj.
5. Namot rotora se suviše grije (kadšto i statora). Makar je opterećenje jednoliko, *struja koju* motor uzima jako koleba. Motor bruji i slabo vuče.	Loš kontakt u rotorskom krugu.	Kao I.4.
6. Motor se pokreće iako pokretač nije uklopljen, i jako se grije.	Kratki spoj u rotorskom krugu.	Oštećene svitke treba nanovo namotati.
7. Klizni koluti i četkice jako se griju.	a) Iskrenje četkica. b) Preveliko trenje između četkica i kliznih koluta zbog prevelikog pritiska četkica ili neprikladnih četkica. c) Loša ventilacija.	a) Kao II. b) Smanji pritisak četkica na klizne kolute. Eventualno namaži jedanput dnevno klizne kolute lagano vazelinom. Po potrebi nabavi prikladne četkice. c) Ispravi odn. pojačaj ventilaciju.

IV. Mehaničke smetnje		
1. Ležajevi se previše griju (maksimalna dozvoljena temperatura 45° C nad okolinom, ali najviša temperatura ležaja ne iznad 80° C).**	a) Remen je prejako nategnut ili nije ravan (rotor nije paralelan s gonjenom osovinom).	a) Smanji napon remena, ali ne previše jer se inače remen kliže. Izravnaj motor.
	b) Spojno je mjesto na remenu loše.	b) Popravi spoj remena. Po mogućnosti remen slijepi.
	c) Nepravilna montaža, npr. ležajevi nisu u pravcu, osovina iskrivljena i dr.	c) Ležajeve i osovinu izravnaj, blazinice postruži.
	d) Blazinica nije kako treba.	d) Pregledaj nisu li utori za mazanje začepljeni. Ako jesu, očisti ih.
	e) Premalo ulja.	e) Kontroliraj razinu ulja te ga po potrebi dolij.
	f) Ulje je neprikladno (pregusto, nečisto).	f) Ispusti ulje, ležaj isperi petrolejem te ga onda napuni prikladnijim uljem. Zabrtvi ležaj od prodiranja prašine.
	g) Prsten za mazanje zapinje.	g) Izravnaj svinuti prsten, očisti ga i izgladi.
2. Motor izvodi jake mehaničke trešnje.	a) Motor nema dobar temelj odn. nije dobro pričvršćen.	a) Izvedi dobar temelj, odnosno čvrstu zidnu konzolu. Pregledaj temeljne vijke te ih čvrsto pritegni.
	b) Ležaj je istrošen.	b) Izmijeni blazinicu.
	c) Remen je prejako nategnut pa se osovina svinula.	c) Kao 1 a.
	d) Remenica ili spojka nije izbalansirana.	d) Skini remenicu odnosno spojku i izbalansiraj je.

* U nuždi i privremeno može se oštećeni svitak isključiti. Pritom ga treba razrezati i izolirati ili posve ukloniti iz utora, a odnosne utore ispuniti drvenim klinovima. Broj isključenih zavoja ne smije biti veći od 10% ukupnog broja zavoja jedne faze. To se smije učiniti samo ako je motor spojen u zvijezdu i svi su svici spojeni u seriju. Ako su svici u paralelnom spoju, treba i u neoštećenoj paralelnoj grani isključiti isti broj zavoja. Ako je motor spojen u trokut, treba i u neoštećenim fazama isključiti isti broj zavoja.

** Izuzetno, ako su valjni ležajevi mazani specijalnom masti, sa kapljištem ne ispod 160° C, smije ugrijanje iznositi do 55° C, odnosno maksimalna temperatura ležaja 90° C (vidi stranu —).

140 b

Smetnje i kvarovi na istosmjernim motorima

Opažanje odn. ispitivanje	Uzrok smetnje odn. kvara	I s p o m o ć
I. Smetnje u okretanju		
1. Motor se ne pokreće (ili se teško pokreće).	a) Prekid u dovodu (npr. jedan osigurač pregorio ili je isklopila *motorska zaštitna sklopka*).	a) Pregledaj i izmijeni pregorjeli osigurač. Kod zaštitne sklopke pregledaj da li je ispravno udešena te je uklopi. Ispitnom žaruljom ili *voltmetrom ispitaj* da li *je na stezaljkama* motora puni napon. Ako nije, ispitaj dovode te ukloni prekid u njima.
	b) Prekid u rotorskom krugu, u pokretaču, spojnim vodovima između pokretača i rotora, u namotu rotora. Četkice zbog onečišćenja zapinju u okvirima i ne *dodiruju kolektor*.	b) Pregledaj regulator, spojne vodiče, spojeve namota pomoću ispitne žarulje ili galvanoskopa. Ukloni prekid. Ako je prekid u rotoru, daj po *potrebi* motor *na popravak. Držače četkica* očisti da se one lako pomiču.
	c) Prekid u uzbudnom krugu. (Pazi da motor ne »pobjegne«!)	c) Pregledaj prije svega regulator, pa onda spojni vod i namote pomoću ispitne žarulje ili galvanoskopa. Prekid možeš ustanoviti i tako da izoliraš četkice od kolektora pa uklopiš sklopku i *pokretač. Kakvim željeznim* predmetom ispitaj tada da li su polovi magnetični. Ukloni prekid. Ako je prekid u namotu, daj motor na popravak.
	d) Nepravilan spoj.	d) Tačno pregledaj spoj motora i pokretača prema shemi spoja za takav motor.
	e) Loša izolacija dovoda.	e) Odriješi spoj dovoda na priključnu ploču te vodiče ispitaj mj*erilom izolacije međusobno* i prema tijelu (masi). Izmijeni loše izolirane vodiče.
	f) Spoj s tijelom (masom).	f) Odriješi dovod od priključne ploče motora i četkice izoliraj od kolektora. Tada ispitnom žaruljom ili galvanoskopom ispitaj magnete, rotor i držače četkica prema željezu.
2. Motor se okreće u obratnom smjeru.	Neispravan spoj za željeni smjer vrtnje.	Izmijeni smjer struje u rotoru ili u glavnim polovima, i to najjednostavnije tako da izmijeniš priključak krajeva namota magneta na priključnoj ploči motora.

II. Iskrenje četkica 1. Sve ili skoro sve četkice iskre kad je motor opterećen. Kolektor crni po cijeloj površini.	a) Jako preopterećenje. b) Neispravan položaj četkica odnosno nosača četkica. c) Između lamela strši izolacija (tinjac). d) Kolektor u lošem stanju: neokrugao, zaprljan masnim slojem, premošten između lamela sitnim metalnim strugotinama od nestručnog tokarenja, pojedine lamele su labave, kolektor se iskrivio. e) Nejednaki razmak između četkica (pojedini nosači četkica su se pomakli). f) Neprikladne četkice (pretvrde ili premeke). g) Četkice u lošem stanju. h) Neispravan redoslijed pomoćnih polova. i) Spoj među zavojima ili posvemašnji kratki spoj svitaka magneta.	a) Istraži uzrok preopterećenja i ukloni ga. Očisti kolektor smirkom. Četkice izbrusi. Ako preopterećenje nije moguće ukloniti, nabavi jači motor. b) Ustanovi neutralnu zonu. (Obično je označena na stroju.) Ako je ne možeš jednostavno ustanoviti, smjesti četkice po sredini između glavnih polova. Ako četkice još iskre, pokušaj ukloniti iskrenje laganim zakretanjem nosača četkica*. c) Izdubi izolaciju između lamela kolektora (na dubinu od 0,5—1 mm), izbrusi kolektor smirkovim platnom, a po potrebi ga otokari. d) Kolektor očisti i otokari ili (ako je to dovoljno) samo izbrusi smirkovim platnom. Ako je kolektor iskrivljen i olabavljen, potreban je popravak u radionici. e) Preispitaj razmake između četkica pomoću trake papira. Pomakni nosače četkica da između četkica bude jednaki razmak. f) Nabavi prikladne četkice. g) Isperi četkice u benzinu, po potrebi ih izbrusi, prednji rub lako zaobli, iščisti držače četkica da se one u njima lako pomiču. h) Pregledaj i ispravi redoslijed pomoćnih polova. (Motori imaju u smjeru vrtnje nakon sjevernog glavnog pola južni pomoćni pol i obratno.) i) Oštećene svitke zamijeni novima.
2. Četkice jednog pola iskre jače nego drugog. Rotor se jako grije i kad motor nije opterećen.	Rotor je loše centriran pa zbog nesimetričnog spoja nastaju jake struje izjednačenja. Uzrok: a) istrošeni ležajevi ili kvar na kugličnom ležaju; b) nepravilna montaža, npr. ležajevi nisu u pravcu, osovina iskrivljena i dr.	a) Pregledaj da li osovina u smjeru vlaka remena ili u okomitom smjeru ima zračnost. Ako da, promijeni blazinice kliznih ležajeva odnosno oštećeni kuglični ležaj. b) Ležajeve i osovinu izravnaj, blazinice postruži.

Smetnje i kvarovi na istosmjernim motorima (nastavak)

Opažanje odn. ispitivanje	Uzrok smetnje odn. kvara	I s p o m o ć
3. Samo neke četkice jako iskre i griju se. Ostale su hladne.	a) Na međusobno spojenim svornjacima nalaze se različite vrsti četkica. b) Loš kontakt između četkica i držača.	a) Četkice pregledaj. Nabavi četkice iste vrsti. b) Pregledaj i uredi kontakte.
4. Motor vrlo jako iskri, između pojedinih lamela može nagorjeti izolacija.	Prekid u rotorskom namotu.	Pregledaj detaljno namot i ustanovi nije li prekinut koji zalemjeni spoj između kolektora i namota ili koji vodič rotora iza zastavice. Prije nego ukloniš prekid, ispitaj nije li zbog pregaranja izolacije došlo do spoja između pojedinih lamela. Ako jest, motor treba da ide u radionicu, na popravak. Ako na kolektoru nije prekid, onda je on u namotu (motor u radionicu).
5. Motor iskri, kolektor mjestimično crni.	a) Loš kontakt između namota i kolektorskih zastavica. b) Loš kontakt između lamela i zastavica. c) Na kolektoru na kojem su žice rotora vijcima pričvršćene olabavili su vijčani spojevi.	a) Šiljatim metalnim komadom ustanovi da li se na odnosnim mjestima žice armature mogu micati u zastavicama. Ako da, zalemi ih. b) Lakim udaranjem po zastavicama ustanovi da li se one mogu micati u lamelama. Ako da, motor treba da ide u radionicu na popravak. c) Pritegni vijke.

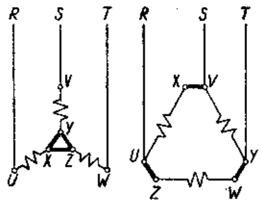
III. Preveliko zagrijavanje		
1. Cijeli se motor previše grije.	Preopterećenje.	Kao II/1a.
2. Motor uzima preveliku struju. Pojedini svici armature (rotora) jako se zagriju za kratko vrijeme.	Pojedini su svici premošteni na kolektoru.	Izvidi da li premoštenje nije izvana. Ako nije, oštećena je izolacija između lamela. Motor daj na popravak.
3. Motor uzima prejaku struju, teško se pokreće (na trzaje).	Spoj između pojedinih svitaka armature (rotora).	Podigni četkice pa uklopi sklopku i pokretač da se magneti potpuno uzbude. Okreći rotor rukom. Ako je kratki spoj u namotu, motor se u dva položaja teško okreće. Potreban je popravak motora.

IV. Mehaničke smetnje: Vidi tablicu 140a/IV, strana 255 (kao kod trofaznih asinhronih motora).

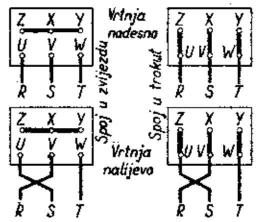
* Četkice serijskih i kompaundnih motora te porednih motora za oba smjera vrtnje treba da stoje u neutralnoj zoni. Četkice porednih motora za jedan smjer vrtnje treba iz neutralne zone nešto pomaknuti u **smjeru vrtnje**.

141 Oznake stezaljki i osnovne sheme spoja asinhronih motora

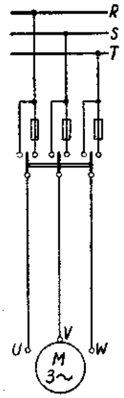
Napon mreže V	Napon motora V	Potreban spoj statora
220	125/220	Y
	220/380	Δ
380	220/380	Y
	380 Δ	Δ
500	290/500	Y
	500 Δ	Δ



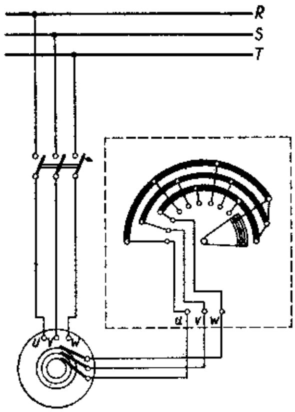
Oznake stezaljki i spojevi statora u zvijezdu i trokut



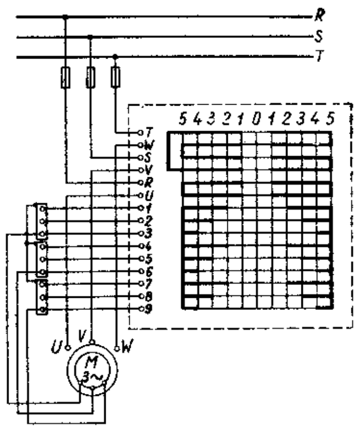
Prespajanje na priključnoj ploči motora



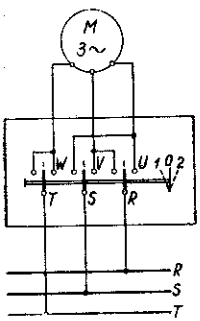
Premoštavanje osigurača pri uklapanju polužnom preklopkom



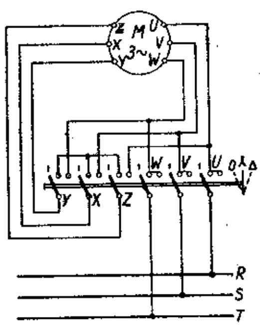
Pokretanje motora s kliznim kolutima pomoću pokretača (uputnika)



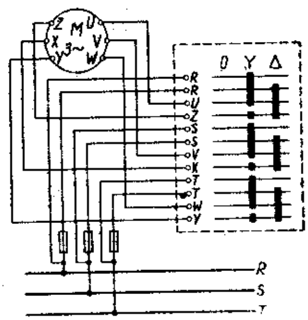
Pokretač sa valjkastom reverzionom preklopkom



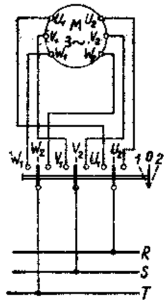
Reverziona preklopka



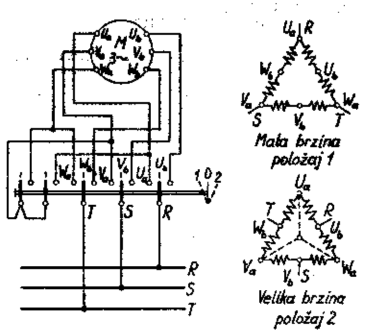
Grebenasta preklopka zvijezda-trokut



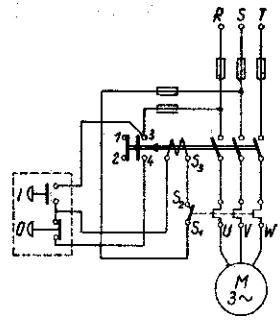
Valjkasta preklopka zvijezda-trokut s premoštavanjem osigurača kod zaleta



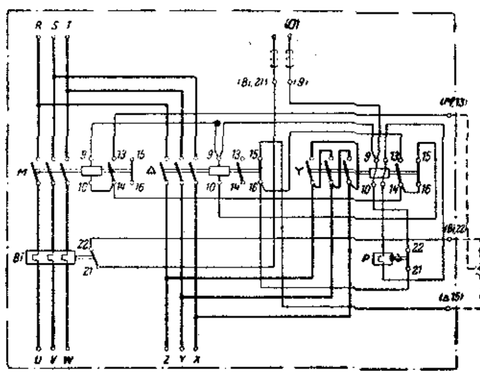
Polna preklopka
(2 odijeljena namota)



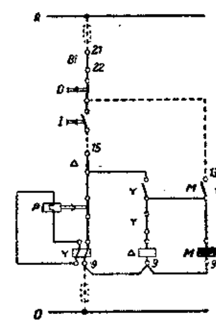
Polna preklopka
(Dahlanderov spoj)



Sklopnik za upravljanje
tipkalom s ugrađenim
bimetalnim relejem



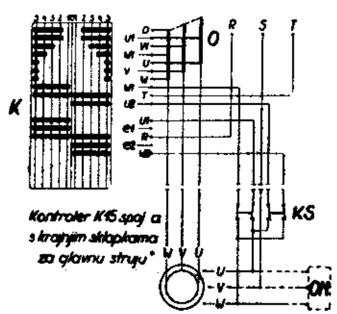
Spojna shema

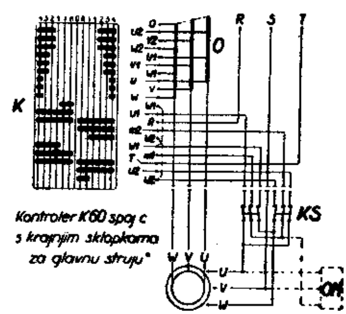


Shema toka struje

Sklopnik zvijezda-trokut

(M – mrežni sklopnik, Y – sklopnik za zvijezdu, Δ – sklopnik za trokut,
P – uređaj za preklapanje, O – tipkalo za isklapanje, I – tipkalo za uklapanje)

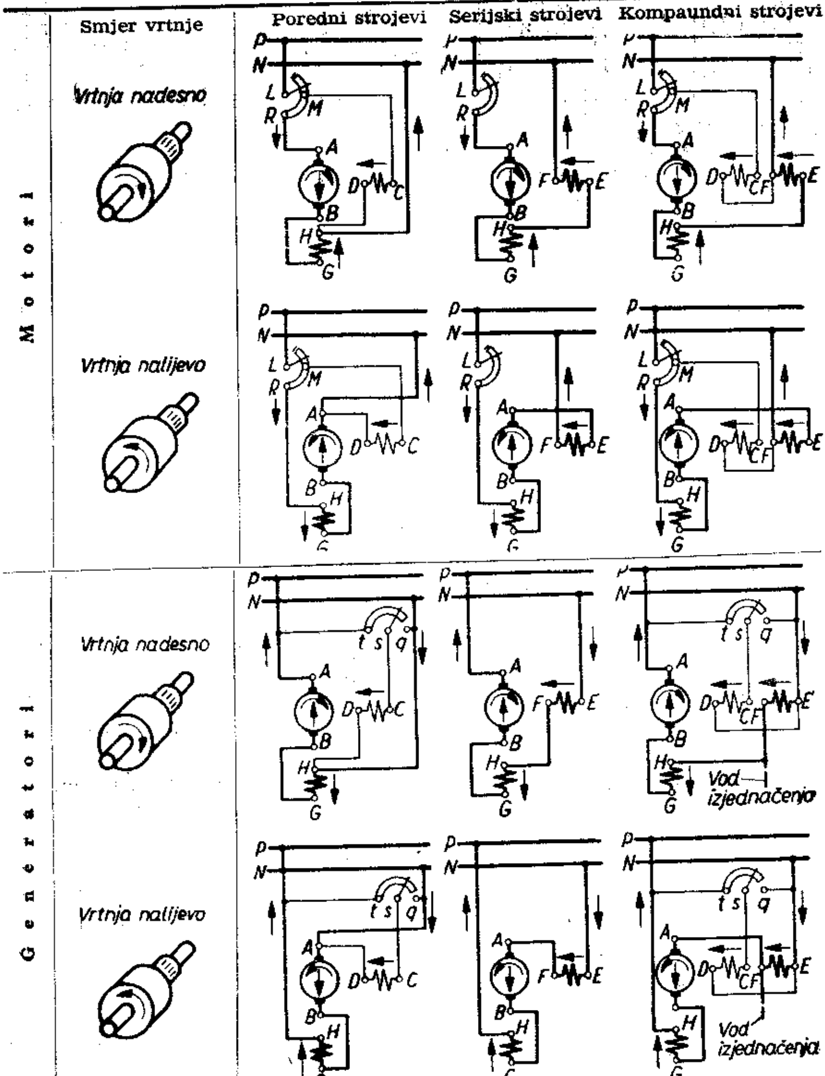




Primjeri kontrolera »Rade Končar«

Spoj *a:* za generatorsko (nadsinhrono) kočenje u spustu provlačnih tereta.
Spoj *c:* za jednofazno (podsinhrono) kočenje na prvim položajima kontrolera.

142 Oznake stezaljki i osnovne sheme spoja istosmjernih strojeva (prema VDE 0570/IV.43)*



C - D i *E - F* uzbudni namoti, *G - H* namoti pomoćnih polova. **Ako stroj** nema pomoćnih polova, namota *G - H* nema pa svi spojevi na stezaljke *G* ili *H* dolaze na stezaljku *B*.

* Sheme u novim propisima VDE 0570 razlikuju se od gornjih shema samo po tome što su namoti nacrtani punom debelom ravnom linijom umjesto cik-cak linijom, a pokretači su nacrtani nešto drukčije. Oznake stezaljki su iste.

Vladanje elektromotora u promjenljivim pogonskim uvjetima uz pretpostavku da se opterećenje ne promijeni

143

a) Sniženi napon

Elektromotor može uz sniženi napon od 5% davati punu snagu.

1. Motor uzima iz mreže jaču struju. Struja rotora također je veća. Namot motora jače se grije.
2. Magnetska indukcija pada približno proporcionalno, struja magnetiziranja, gubici u željezu i ugrijavanje željeza su manji.
3. U približno istom omjeru s naponom opada struja uklapanja.
4. Potezni i prekretni moment opadaju približno s kvadratom napona.
5. Gubici u namotu se povećavaju. Ukupni gubici općenito su nešto veći. Korisnost se općenito nešto smanjuje.
6. Faktor snage se poboljšava.
7. Brzina vrtnje opada nešto s naponom.

b) Povišeni napon

Elektromotor može uz povišeni napon od 5% davati punu snagu.

1. Struja rotora i ona komponenta struje statora (tj. struje koju motor uzima iz mreže) koja ovisi o opterećenju smanjuju se za približno toliko postotaka koliko se povisuje napon. Namot rotora, a općenito i namot statora, manje se griju.
2. Magnetska indukcija raste približno proporcionalno s naponom, struja magnetiziranja, gubici u željezu i ugrijavanje željeza su veći.
3. U približno istom omjeru s naponom raste struja uklapanja.
4. Potezni i prekretni moment rastu približno s kvadratom napona.
5. Ukupno zagrijavanje motora može porasti, ostati nepromijenjeno ili opasti, već prema tome da li preteže povećano ugrijavanje željeza ili smanjeno ugrijavanje namota. Općenito, ako povišenje napona ne prelazi 5%, ugrijavanje motora, a to znači i ukupni gubici, promijenit će se neznatno. Korisnost će ostati praktički jednaka.
6. Faktor snage se nešto pogoršava.
7. Brzina vrtnje se nešto povećava s naponom.

c) Promjena frekvencije

Sniženje frekvencije utječe na elektromotor slično kao povišenje napona, a povišenje frekvencije kao sniženje napona. Snaga motora mijenja se približno proporcionalno s frekvencijom, ali kod manjih frekvencija opada nešto naglije zbog slabijeg hlađenja.

Pazi! Motori za 60 Hz (američki motori) ne mogu se upotrijebiti u mreži od 50 Hz (to je slično kao da bismo ih priključili na 20% viši napon). Motori za 42 Hz (stari motori sa područja Rijeke, Istre, Slov. Primorja i Italije) mogu se upotrijebiti za 50 Hz. Oni mogu dati do 20% veću snagu nego kod 42 Hz, ali su im potezni i prekretni moment znatno manji.

d) Istovremena promjena frekvencije i napona

Ako se istovremeno s frekvencijom za isti postotak snizuje napon i ako te promjene nisu u previše širokim granicama, motor će raditi kao pod normalnim uvjetima.

e) Utjecaj temperature okoline

Vidi na strani 222.

144 Pregled sinhronih generatora do 1100 kVA sa uzbudnikom
proizvodnje »Rade Končar«

N a p o n : Do 630 kVA normalno 400 V, izuzetno 3150 ili 6300 V. Iznad 630 kVA normalno 400, 3150 ili 6300 V. Na zahtjev mogu se izraditi za bilo koji napon.

O b l i k : Do veličine 1000* normalno B 3, iznad veličine 1000* normalno D 6. Strojevi oblika B 3 imaju kotrljajuće ležajeve (u ležajnom štitu), strojevi oblika D 6 imaju odvojene klizne ležajeve.

Z a š t i t a : P 11, P 22 ili P 33.

H l a đ e n j e : Normalno cirkulacijom zraka iz okoline, na zahtjev zrakom koji se dovodi izvana ili kružnom cirkulacijom zraka sa hladionikom.

P o g o n s k i s t r o j : Vodna turbina, dizelski motor; parna ili plinska turbina (za 4-polne strojeve).

U z b u d n i k : prigrađen.

S i n h r o n i m o t o r i : Ovi se strojevi mogu izraditi i kao sinhroni motori.

Nazivna snaga kVA	Težina u kilogramima (s uzbudnikom, ali bez spojke ili remenice) za slijedeći broj polova/brzina vrtnje (za 50 Hz)						
	4/1500	6/1000	8/750	10/600	12/500	14/428	16/375
110	—	1290	1460	1640	1870	2160	2400
125	1410	1375	1580	1760	2010	2310	2580
140	1512	1450	1700	1870	2320	2420	2720
160	1660	1580	1820	2020	2400	2580	2930
180	1750	1750	1940	2210	2520	2780	3100
200	1940	1850	2020	2320	2710	2920	3290
220	2040	1940	2120	2460	2900	3130	3550
250	2200	2080	2320	2680	3120	3410	3820
280	2320	2240	2500	2800	3280	3620	4090
320	2540	2500	2680	3210	3540	3930	4520
360	2680	2680	2870	3400	3870	4280	4870
400	2820	2870	3340	3660	4140	4590	5210
450	3070	3020	3560	4080	4460	5100	5640
500	3260	3520	3790	4360	4810	5490	5710
560	3830	3740	4280	4720	5070	5800	6100
630	4120	4060	4590	5150	5480	5880	6620
700	4310	4290	4910	5360	5890	6250	7140
800	4690	4520	5550	5860	6340	6890	7210
900	5070	4930	5780	6320	6850	7470	7750
1000	5490	5310	6250	6960	7360	—	—
1100	6040	5700	—	—	—	—	—

* Vanjski promjer statorskog paketa 1 m. Uz taj promjer imaju 4-polni strojevi 800 kVA, 6-polni 700 kVA, 8-polni 500 kVA, 10-polni 400 kVA, 12-polni 320 kVA, 14-polni 250 kVA, 16-polni 200 kVA.

Mali sinhroni trofazni samouzbudni generatori[1]) proizvodnje »Rade Končar« **145**

N a z i v n i   n a p o n normalno 400/231 V (na zahtjev na koji napon između 110 i 500 V), 50 Hz. O b l i k normalno B 3 (na zahtjev i drugi oblici). Z a š t i t a P 22. P o b j e g: Generatori mogu podnijeti prolazno povećanje brzine do 80% iznad nazivne.

O s n o v n i   p r o p i s i: IEC (najviša temperatura okoline 40° C).

Tip[2])	Četveropolni strojevi					Šestoropolni strojevi				
	Nazivna snaga		Nazivna struja	Primljena snaga	Težina*	Nazivna snaga		Nazivna struja	Primljena snaga	Težina*
	kVA	kW	A	KS	kg	kVA	kW	A	KS	kg
2SC 162	8	6,4	11,5	10,3	130					
2SC 163	10	8	14,5	12,7	145					
2SC 164	12,5	10	18,1	15,8	165					
2SC 201	16	12,8	23,1	20	205	8	6,4	11,5	10,7	165
2SC 202	20	16	28,9	24,7	235	10	8	14,5	13,4	180
2SC 203	25	20	36,1	30,8	260	12,5	10	18,1	16,4	200
2SC 250	32	25,6	46,2	38,7	305					
2SC 251	40	32	57,7	47,8	335					
2SC 252	50	40	72,1	59,2	385	16	12,8	23,1	21	260
2SC 253						20	16	28,9	26	290
2SC 254						25	20	36,1	32,3	320
2SC 310	63	50,4	91	74	460					
2SC 311	80	64	115,5	93,7	575	32	25,6	46,2	40,5	430
2SC 312	100	80	144	116,5	685	40	32	57,7	50	490
2SC 313	135	108	195	156,2	795	50	40	72,1	62	550
2SC 400						63	50,4	91	77	700
2SC 401						80	64	115,5	96	780
2SC 402						100	80	144	118	835

Ovi generatori nemaju uzbudnika, a uzbuđuju se pomoću posebnog uzbudnog uređaja — uzbudnog sklopa. Odatle im naziv samouzbudni generatori.

P o g o n s k i   s t r o j može biti eksplozioni motor (npr. dizelski motor), vodna turbina, parna turbina ili električni motor. Agregatirani s pogonskim strojem upotrebljavaju se kao samostalni ili rezervni izvori električne energije (agregati za nuždu).

O p t e r e t i v o s t: Nazivnu snagu mogu davati trajno. Za vrijeme od 1 sat mogu se preopteretiti za 25%. Ako generator radi sam na mrežu mogu se na nj direktno priključiti asinhroni motori čija nazivna snaga u kW ne prelazi 50% nazivne snage generatora u kVA.

1) Ovi samouzbudni generatori proizvode se i u j e d n o f a z n o j   i z v e d b i.

2) Oznaci tipa dodaje se još broj polova, npr. 2SC 253—6.

* Ovo je težina generatora sa uzbudnim sklopom. Težina uzbudnog sklopa iznosi od 8% (kod najvećeg tipa) do 24% (kod najmanjeg tipa) od težine generatora.

147 a

Trofazni kavezni asinhroni motori, mali
a) »Rade Končar«, Zagreb

*Motori standardiziranih snaga i mjera***

Zaštita: P 33 (zatvoreni motori). *Nazivna snaga:* sve snage od 0,25 do 22 kW, i to: 2-polni 0,37 do 22 kW, 4-polni 0,25 do 22, 6-polni 0,37 do 15 kW, 8-polni 0,25 do 11 kW. *Kućište* motora do cca 1 kW od siluminа, većih motora od sivog liva. *Oblik* B 3, B 6, B 7, B 8, V 5, V 6. *Normalni napon* 380 V. *Izolacija* klase E, po želji otporna protiv vlage ili protiv kemikalija ili za trope.

Motori ježaste konstrukcije (dosadašnji normalni motori)

Zaštita P 33 (zatvoreni motori). *Kućište* od silumina. *Oblik* B 3, B 6, B 7, B 8, V 5, V 6. *Normalni napon:* 380 V zvijezda do 3 kW, 380 V trokut preko 3 kW. *Broj polova* označen je u tipu zadnjom brojkom. *Izolacija* klase E, po želji otporna protiv vlage ili protiv kemikalija ili za trope.

Prigrađene sklopke: Uz motore do 5,5 kW veličine AZ 133 do 2AZ 187 mogu se prigraditi sklopke, i to tropolna sklopka, preklopka zvijezda-trokut ili reverziona preklopka.

Rotor: Od tlačno lijevanog elektrolitičkog aluminija.

Remenski prijenos: Mjere remenice za plosnati remen vidi na narednoj strani. Za dvopolne motore veličine 2AZ 235 do 2AZ 267 ne može se upotrijebiti remenski prijenos ploznatim remenom, a za 2AZ 265 i 2AZ 267 ni klinastim remenom.

Značenje oznaka u tablici: I_n — nazivna struja (za 380 V), I_k — struja uklapanja, M_n — nazivni zakretni moment, M_p — potezni moment, M_m — maksimalni (prekretni) moment, GD^2 — zamašni moment.

Nazivna snaga kW	Nazivna snaga KS	Tip	Brzina vrtnje o/min	I_n A	cos φ	$\frac{I_k}{I_n}$	$\frac{M_p}{M_n}$	$\frac{M_m}{M_n}$	GD^2 kpm²	Težina* pribl. kg
0,23	0,3	AZ 103-2	2600	0,8	0,78	2,9	2,1	2,1	0,001	5,3
0,36	0,5	AZ 105-2	2650	1,1	0,82	2,9	2,2	2,2	0,0013	6,6
0,6	0,8	AZ 107-2	2650	1,8	0,83	3,0	2,2	2,2	0,002	9,0
0,8	1,1	AZ 133-2	2750	2,0	0,84	3,6	2,2	2,2	0,0047	11
1,1	1,5	AZ 135-2	2780	2,8	0,85	4,0	2,2	2,2	0,0056	13
1,5	2,0	AZ 137-2	2800	3,6	0,85	4,4	2,2	2,2	0,007	15,5
2,2	3,0	2AZ 155-2	2830	4,8	0,86	5,8	2,5	2,5	0,012	23
3,0	4,0	2AZ 157-2	2850	6,4	0,87	6,4	2,4	3,4	0,014	27,5
4,0	5,5	2AZ 185-2	2870	8,3	0,87	7,0	2,5	3,4	0,031	46
5,5	7,5	2AZ 187-2	2880	11	0,89	7,6	2,7	3,5	0,038	54
7,5	10	2AZ 235-2	2890	16	0,89	5,4	2,0	2,6	0,096	79
11	15	2AZ 237-2	2890	23	0,88	7,0	2,4	3,0	0,130	95
15	20	2AZ 265-2	2900	30	9,89	7,0	2,3	2,9	0,254	126
22	30	2AZ 267-2	2920	43	0,89	7,0	2,4	3,0	0,362	163

Nastavak na narednoj strani.

* Bez remenice, za oblik s nogama B 3.

** To su tzv. »IEC-motori« u skladu s publikacijama IEC br. 72-1 i 72-2, 3. izdanje, te JUS N.G0.020 i N.G0.021 kojima su određene snage i neke mjere motora.

Trofazni kavezni asinhroni motori mali »Rade Končar« (nastavak)

Zaštita P33 (zatvoreni motori)

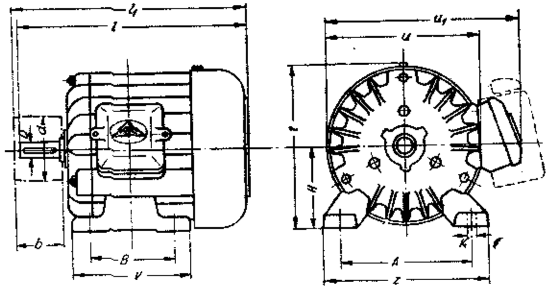
Nazivna snaga kW	Nazivna snaga KS	Tip	Brzina vrtnje o/min	I_n A	cos φ	$\frac{I_k}{I_n}$	$\frac{M_p}{M_n}$	$\frac{M_m}{M_n}$	GD^2 kpm^2	Težina* pribl. kg
0,25	0,34	AZ 103-4	1320	0,85	0,74	2,7	1,8	2,0	0,0015	5,3
0,36	0,5	AZ 105-4	1360	1,2	0,74	3,2	1,9	2,0	0,0023	6,7
0,6	0,8	AZ 107-4	1360	1,9	0,76	3,1	2,0	2,0	0,0046	9,0
0,8	1,1	AZ 133-4	1360	2,3	0,76	3,4	2,0	2,0	0,007	12
1,1	1,5	AZ 135-4	1370	3,1	0,76	3,6	2,0	2,0	0,008	14
1,4	1,9	AZ 137-4	1370	3,8	0,78	3,8	2,2	2,2	0,010	16,5
2,2	3,0	2AZ 155-4	1410	5,0	0,81	4,2	1,8	2,2	0,0176	25
3,0	4,0	2AZ 157-4	1410	7,0	0,82	4,8	2,2	2,4	0,0212	30
4,0	5,5	2AZ 185-4	1420	8,8	0,82	4,3	2,1	2,4	0,0212	50
5,5	7,5	2AZ 187-4	1420	12	0,82	4,5	2,0	2,6	0,068	58
7,5	10	2AZ 235-4	1440	16	0,83	5,3	2,0	2,3	0,148	83
10	13,5	2AZ 237-4	1440	21	0,84	5,4	2,0	2,3	0,178	97
15	20	2AZ 265-4	1450	30	0,85	5,6	2,0	2,5	0,360	130
20	27	2AZ 267-4	1455	40	0,85	7,0	2,3	3,0	0,494	167
0,4	0,55	AZ 133-6	900	1,3	0,74	2,8	2,0	2,0	0,0086	12
0,6	0,8	AZ 135-6	900	1,9	0,74	2,9	2,2	2,2	0,0103	14
0,8	1,1	AZ 137-6	900	2,5	0,74	3,1	2,2	2,2	0,0125	16
1,1	1,5	2AZ 153-6	910	2,9	0,75	3,3	1,7	2,0	0,017	20
1,5	2,0	2AZ 155-6	910	3,9	0,75	3,6	1,6	2,0	0,0213	26
2,0	2,7	2AZ 157-6	920	5,0	0,75	4,0	1,7	2,0	0,0264	30
2,5	3,4	2AZ 185-6	930	6,3	0,75	4,2	1,6	2,0	0,056	50
3,0	4,0	2AZ 187-6	930	7,6	0,75	4,8	1,8	2,0	0,0650	58
5,0	6,8	2AZ 235-6	940	12,5	0,75	3,5	1,6	2,0	0,151	82
7,0	9,5	2AZ 237-6	950	17	0,75	4,0	1,8	2,2	0,186	96
10	13,5	2AZ 265-6	955	23	0,78	4,0	1,6	2,0	0,368	132
12,5	17,0	2AZ 267-6	965	29	0,76	4,8	1,7	2,3	0,510	165
0,3	0,4	2AZ 133-8	670	1,1	0,65	2,7	2,0	2,0	0,010	12
0,4	0,55	2AZ 135-8	670	1,6	0,66	2,6	2,0	2,0	0,012	13,5
0,5	0,7	2AZ 137-8	670	1,9	0,66	2,9	2,2	2,2	0,015	16
0,8	1,1	2AZ 155-8	690	2,5	0,7	3,2	1,8	2,0	0,030	24,5
1,1	1,5	2AZ 157-8	690	3,4	0,7	3,2	1,9	2,1	0,038	29
2,0	2,7	2AZ 185-8	700	5,2	0,73	3,9	2,0	2,5	0,068	48
2,8	3,8	2AZ 187-8	700	7,1	0,75	3,9	1,9	2,4	0,088	57
4,0	5,5	2AZ 235-8	705	9,6	0,77	4,1	1,6	2,4	0,187	75
5,5	7,5	2AZ 237-8	710	13,0	0,78	4,8	1,6	2,3	0,26	91
7,5	10,0	2AZ 265-8	715	17,0	0,78	4,6	1,6	2,5	0,50	125
10	13,5	2AZ 267-8	720	22,0	0,80	5,0	1,6	2,7	0,69	163

* Bez remenice, za oblik s nogama B 3.

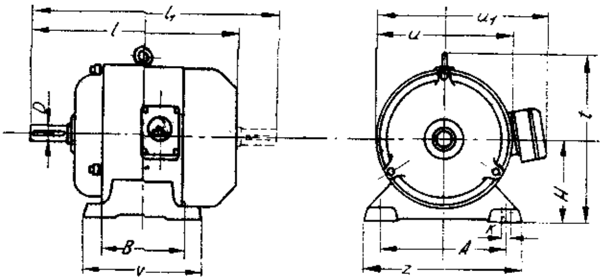
Trofazni kavezni asinhroni motori mali »Rade Končar« (nastavak)

Mjerne skice (za oblik s nogama B3)

AZ 103 do AZ 137



2AZ 153 do 2AZ 267



Veličina	A	B	D	H	K	b*	d*	l	l_1	t	u	u_1	v	z
AZ 103	125	90	14	80	9,5	50	63	190	207	155,5	145	172,5	125	160
AZ 105	125	90	14	80	9,5	50	63	210	227	155,5	145	172,5	125	160
AZ 107	125	112	16	80	9,5	60	80	244	261	155,5	145	172,5	145	160
AZ 133	160	112	18	100	11	60	80	252	270	200,5	194	242	157	205
AZ 135	160	112	20	100	11	60	100	278	286	200,5	194	242	157	205
AZ 137	160	140	22	100	11	85	125	298	329	200,5	194	242	185	205
2AZ 153	200	140	28	125	15	85	125	308	361	240	222	292	195	255
2AZ 155	200	140	28	125	15	100	125	333	386	240	222	292	195	255
2AZ 157	200	140	28	125	15	100	125	363	416	240	222	292	195	255
2AZ 185	250	190	28	160	15	100	160	399	462	328	265	335	250	310
2AZ 187	250	190	32	160	15	120	160	454	537	328	265	335	250	310
2AZ 235	280	224	32	180	18	120	200	474	558	388	330	413	294	340
2AZ 237	280	224	38	180	18	120	225	519	603	388	330	413	294	340
2AZ 265	315	250	42	200	18	140	250	565	680	440	375	472	325	380
2AZ 267	315	250	48	200	18	170	280	635	750	440	375	472	325	380

* *b* – širina remenice, *d* – promjer remenice.

b) Elektrokovina Maribor

Motori standardiziranih snaga i mjera[1])

Zaštita: P 33 (zatvoreni motori)

Kućište: rebrasto od tlačno lijevanog silumina.

Oblik: s nogama B 3, prirubni B 5 ili prigradni B 14.

Hlađenje površinsko.

Normalni napon: do 3 kW 220/380 V, preko 3 kW 380/660 V.

Broj polova označen je u tipu zadnjom brojkom.

Izolacija klase E, izvodi se kao normalna, brodska ili tropska.

Rotor: Od tlačno lijevanog elektrolitičkog aluminija.

Značenje oznaka u tablici: I_n — nazivna struja (za 380 V), η — korisnost, I_k — struja uklapanja, M_n — nazivni zakretni moment, M_p — potezni moment, M_m — maksimalni (prekretni) moment.

Nazivna snaga kW	Nazivna snaga KS	Tip	Brzina vrtnje o/min	I_n A	cos φ	η %	$\frac{I_k}{I_n}$	$\frac{M_p}{M_n}$	$\frac{M_m}{M_n}$	Težina[2]) přibliž. kg
3	4	T 112 S2	2860	6,23	0,88	83	6,1	2,6	2,9	24,5
4	5,5	T 112 M2	2880	8,1	0,89	84	6,2	2,6	2,9	30
2,2	3	T 112 SA4	1420	5,1	0,81	81	4,7	2,1	2,5	23,5
3	4	T 112 S4	1425	6,7	0,82	83	5,4	2,3	2,7	27
4	5,5	T 112 M4	1430	8,7	0,83	84	6,0	2,5	2,9	33
1,1	1,5	T 112 SA6	920	3,08	0,73	74	4,0	2	2,4	23
1,5	2	T 112 S6	930	4,0	0,74	77	4,4	2	2,4	26,5
2,2	3	T 112 M6	935	5,63	0,75	79	4,8	2	2,4	32,5
0,75	1	T 112 SA8	690	2,35	0,70	69	3,6	2	2,4	22,5
1,1	1,5	T 112 S8	695	3,26	0,71	72	3,8	2	2,4	26
1,5	2	T 112 M8	700	4,27	0,72	74	4,0	2	2,4	32

Osnovne mjere u milimetrima prema mjernoj skici na strani 268 (za oblik s nogama B 3)

Veličina	A	B	D	H	K	l	t	u	u_1	v	z
T 112 SA	*190*	*114*	28	*112*	12	354	258	222	271	164	240
T 112 S	*190*	*114*	28	*112*	12	354	258	222	271	164	240
T 112 M	*190*	*140*	28	*112*	12	380	258	222	271	190	240

Kurzivom odštampane mjere su standardizirane.

---

[1]) To su takozvani »IEC-motori« u skladu s publikacijama IEC br. 72-1 i 72-2, 3. izdanje, te JUS N.G0.020 i N.G0.021 kojima su određene snage i neke mjere motora.

[2]) Bez remenice, za oblik s nogama B 3.

b) **Elektrokovina Maribor,** nastavak

Motori tipa AZa i TMp

Zaštita: P 33. — Normalni napon: 380 V zvijezda. — Oblik: s nogama B 3 ili prigradni B 14.

Tip AZa: glatko kućište od sivog liva. Kavez od silumina.

Tip TMp 4 i TMP 14: rebrasto kućište od tlačno lijevanog silumina. Tip. TMp 24: glatko kućište od čeličnog lima. Kavez od silumina.

Veličina	Tip AZa nazivna snaga 2 polni	4 polni	6 polni	težina* 4 polni	Tip TMp nazivna snaga 2 polni	4 polni	6 polni	težina* 4 polni
3 k	0,22	0,16		6,8				
3 n	0,33	0,25		7,6				
3 d	0,5	0,33		8,9				
4 kk					0,25	0,18		5,00
4 k					0,37	0,25		5,70
4 n					0,55	0,37		6,63
13 k	0,8	0,42	0,25	11,8				
13 n	1,1	0,55	0,42	15,6				
13 d		0,8		17,2				
14 k					0,25	0,4		7,55
14 n					1,1	0,55	0,25	8,25
14 d					1,5	0,8	0,45	11,25
24 k					2,0	1,1	0,6	13,10
24 n					2,5	1,5		22,10
24 d					3,0	2,2		30,50

Primjer kompletne oznake tipa: TMp 4kk-4 (motor tipa TMp, veličine 4kk, četvoropolni).

147 c

c) **TEŽ - Croatia, Zagreb**

Zaštita: P 11 (motori zaštićeni od kapanja). Kućište od silumina. Oblik: s nogama (B 3 i srodni oblici). Napon 380/220 V.

Tip	o/min	kW	A*	kg*	Tip	o/min	kW	A*	kg*
D 3/2	2750	0,26	1,73	6,5	D 3/4	1380	0,18	1,4	6,5
D 13/2	2760	0,55	2,85	9,4	D 13/4	1390	0,36	1,73	9,4
D 23/2	2820	1,00	4,6	15,4	D 23/4	1410	0,80	3,38	15,4
D 33/2	2840	2,20	7,3	23	D 33/4	1430	1,32	6,4	23

147 d

d) **Loške tovarne hladilnikov (prije Motor), Škofja Loka**

Otvoreni motori, 380 V trokut, oblik B 3					Zatvoreni motori, 380 V zvijezda, oblik B 3				
Tip	o/min	kW	A*	kg*	Tip	o/min	kW	A*	kg*
O 2/3,3	2850	3,3	6	35	Z 4/1,21	1380	1,21	3,2	23
O 2/7,3	2860	7,3	14,8	51	Z 4/1,41	1380	1,41	3,3	25
O 4/4,06	1410	4,06	8,6	48,5	Z 4/2	1400	2	5,1	32
O 4/5,2	1420	5,2	12	51	Z 4/2,2	1400	2,2	5,2	34
O 6/1,9	935	1,9	4,9	34					

* A — Struja u amperima za napon 380 V; kg — čista težina bez remenice.

e) Trofazni kavezni asinhroni motori »Sever«, mali i srednji

Zaštita P 33 (zatvoreni motori). Kućište od silumina za manje motore (tip RZK), odn. od sivog liva za veće motore (tip NZK). Osnovni oblici: B 3, B 5 i V 1. Normalni napon: 380 V zvijezda za motore ispod 3 kW, 380 V trokut za motore 3 kW i veće. Izolacija klase A, po želji otporna protiv vlage, protiv kemikalija i za tropske uvjete. »Sever« proizvodi i veće motore, do 400 kW, 4 do 12 polova, u zaštićenoj (P 21) i zatvorenoj (P 33) izvedbi.

Remenski prijenos plosnatim remenom ne može se upotrijebiti za veličine NZK 60 do 80, a za dvopolne motore ni za NZK 7 do 50.

Tip	Težina* kg	Snaga kW za p = 2	4	6	8	Tip NZK	Težina* kg	Snaga kW za p = 2	4	6	8
RZK 05	11	0,8	0,55	0,37		10	227	22	15	11	7,5
RZK 06	14	1,1	0,8	0,55		12	275	30	18,5	15	11
RZK 08	18	1,5	1,1	0,8	0,55	15	310	38	22	18,5	15
RZK 1	24	2,2	1,5	1,1	0,8	20	380		30	22	18,5
RZK 2	34	3	2,2	1,5	1,1	25	410	50	38	30	22
RZK 3	38	4	3	2,2	1,5	30	470	63	50	38	30
RZK 4	47	5,5	4	3	2,2	40	560	80	63	50	38
RZK 6	61	7,5	5,5	4	3	50	650	100	80	63	50
NZK 7	125	11	7,5	5,5	4	60	830	125	100	80	63
NZK 9	170	15	11	7,5	5,5	70	1250	160	125	100	80
						80	1640	200	160	125	100

Broj polova označuje se u tipu zadnjom **brojkom. Primjer potpune** oznake tipa: RZK 08/4 (četvoropolni motor 1,1 kW).

Mjere u mm **za oblik B 3**
(Oznake u tablici jednake kao na mjernoj skici na strani 268).

Veličina	A	B	D	H	K	b	d	l	t	u	u_1	v	z
RZK 05	150	125	18	90	9,5	60	80	240	180	174	214	160	185
RZK 06	150	155	18	90	9,5	60	100	265	180	174	214	190	185
RZK 08	180	145	22	112	11,5	85	100	310	226	220	260	185	220
RZK 1	180	170	22	112	11,5	85	125	335	226	220	260	210	220
RZK 2	200	180	22	125	14	100	125	357	290	246	285	225	245
RZK 3	220	190	28	140	14	100	160	370	318	280	285	230	260
RZK 4	220	200	28	140	14	100	160	390	318	280	317	250	260
RZK 6	240	230	32	160	14	100	200	439	355	300	345	280	290
NZK 7	260	240	38	190	38	120	200	470	412	372	416	295	306
NZK 9	295	310	38	200	38	120	250	550	445	380	430	370	360
NZK 10	330	290	45	225	45	140	250	591	498	434	500	350	400
NZK 12	330	350	45	240	45	170	280	671	520	470	500	420	400
NZK 15	340	450	55	250	55	200	320	786	545	464	550	526	430
NZK 20	385	360	55	280	55	200	320	725	597	530	630	420	475
NZK 25	385	410	55	280	55	200	360	772	615	530	630	500	475
NZK 30	520	375	65	320	65	230	400	826	714	620	720	445	620
NZK 40	520	420	65	320	65	230	450	875	714	620	720	500	620
NZK 50	560	400	75	380	75	260	450	866	854	740	840	500	660
NZK 60	560	470	75	380	75	—	—	938	854	740	840	570	660
NZK 70	650	600	85	400	85	—	—	1178	892	790	890	720	770
NZK 80	740	600	95	450	95	—	—	1183	1018	890	1045	720	860

Motori standardiziranih mjera** u kućištu od sivog liva, zatvoreni (P 33): »Sever« je razvio takve motore u čitavom nizu od 0,37 do 132 kW, 2, 4, 6 i 8-polne.

---

* Težina četvoropolnog motora, bez remenice, za oblik s nogama B 3. Šestoropolni motori su do 3% lakši, osmoropolni do 7% lakši, a dvopolni do 6% teži.
** Vidi fusnotu 1) na strani 269.

148 Dizalični trofazni kavezni asinhroni motori, mali
proizvodnje »Rade Končar«

Zaštita: P 33 — zatvoreni motori. Kućište od silumina.
Napon: 380 V (na zahtjev svaki napon između 110 do 600 V).
Nazivna intermitencija 20, 40 i 60%.

Oblik, izolacija, mjere i ostalo kao za obične kavezne motore »Rade Končar«, vidi 147a, strana 266.

Nazivna snaga* kW	Tip	Brzina vrtnje[1]) o/min	I_n [2]) A	$\frac{I_k}{I_n}$ [1])	$\frac{M_p}{M_n}$ [1])	GD^2 kpm²	Težina[3]) pribl. kg
1/0,9/0,8	AZd 133-4	1350	2,6	3,4	2	0,007	12,5
1,4/1,25/1,1	AZd 135-4	1370	3,5	3,4	2	0,008	14,5
1,9/1,7/1,5	AZd 137-4	1370	4,7	3,6	2	0,01	17
2,8/2,5/2,2	2 AZd 155-4	1400	5,8	4,2	2	0,018	26
3,8/3,4/3	2 AZd 157-4	1400	8	4,4	2	0,022	30
5/4,4/4	2 AZd 185-4	1420	10	4,6	2	0,059	50
7/6,3/5,5	2 AZd 187-4	1430	16	4,6	2	0,068	58
9/8/7	2 AZd 235-4	1440	17,3	4	2,1	0,148	84
12,5/11/10	2 AZd 237-4	1430	25	4	2,2	0,178	98
19/17/15	2 AZd 265-4	1440	36	3,5	2,1	0,360	132
28/25/22	2 AZd 267-4	1455	48	3,9	2	0,474	170
0,5/0,44/0,4	AZd 133-6	890	1,5	2,9	2	0,009	12
0,75/0,66/0,6	AZd 135-6	890	2,1	3,1	2,3	0,01	14
1/0,9/0,8	AZd 137-6	890	2,9	3,3	2,3	0,013	16,5
1,4/1,25/1,1	2 AZd 153-6	910	3,7	3,4	2	0,017	21
1,9/1,7/1,5	2 AZd 155-6	910	4,6	3,6	2	0,022	26
2,7/2,4/2,2	2 AZd 157-6	910	6,2	3,8	1,9	0,027	31
3,2/2,8/2,5	2 AZd 185-6	910	7,5	3.5	2,1	0,056	50
3,8/3,4/3	2 AZd 187-6	920	8,7	3,8	2,2	0,065	58
6,5/5,5/5	2 AZd 235-6	940	14	3.8	2,2	0,151	82
9/8/7	2 AZd 237-6	940	18	5	2,6	0,186	96
12/11/10	2 AZd 265-6	955	27	3,7	2,2	0,37	132
17/15/14	2 AZd 267-6	955	36	4	2	0,51	166
0,37/0,33/0,3	AZd 133-8	660	1,2	2,7	2	0,01	12
0,5/0,45/0,4	AZd 135-8	660	1,9	2,7	2	0,012	14
0,63/0,55/0,5	AZd 137-8	660	2,2	2,9	2	0,015	16
	2 AZd 153-8						
1/0,9/0,8	2 AZd 155-8	680	2,9	3,3	2	0,03	25
1,4/1,3/1,1	2 AZd 157-8	680	4,1	3,3	2	0,038	30
2,5/2,2/2	2 AZd 185-8	700	6	3,6	2	0,068	49
3,5/3,2/2,8	2 AZd 187-8	700	8,3	3,9	2	0,088	58
5/4,5/4	2 AZd 235-8	705	11	3,6	2,1	0,187	82
6,5/6/5,5	2 AZd 237-8	710	16	3,5	2,2	0,26	96
9,5/8,5/7,5	2 AZd 265-8	715	21	5	2,4	0,50	128
12,5/11/10	2 AZd 267-8	725	27	5	2,4	0,69	164

I_n — nazivna struja (za 380 V), I_k — struja uklapanja, M_n — nazivni zakretni moment, M_p — potezni moment, GD^2 — zamašni moment.

Broj uklapanja na sat 60, sa zamašnim momentom tereta koji nije veći od trostrukog zamašnog momenta vlastitog rotora.

Dizalične motore proizvodi i »Sever«: 4-polne 3,5 do 25 kW, 6-polne 2 do 19,5 kW, 8-polne 4 do 16 kW.

* Prvi broj za intermitenciju 20%, drugi broj za 40%, treći za 60%.

[1]) Za snagu navedenu kao drugi broj u prvom stupcu, tj. za intermitenciju 40%.

[2]) Za napon 380 V.

[3]) Bez remenice, za oblik s nogama B 3.

149

Trofazni dvobrzinski asinhroni motori (polno preklopivi)

Zaštita P33 (zatvoreni motori)

Tip (2/4—polni)	Veća brzina: nazivna snaga kW	Veća brzina: brzina vrtnje o/min	Manja brzina: nazivna snaga kW	Manja brzina: brzina vrtnje o/min	Tip (4/8—polni)	Veća brzina: nazivna snaga kW	Veća brzina: brzina vrtnje o/min	Manja brzina: nazivna snaga kW	Manja brzina: brzina vrtnje o/min
a) Rade Končar, Zagreb									
AZp					AZp				
103—4/2	0,2	2600	0,15	1350					
105—4/2	0,33	2600	0,25	1360					
107—4/2	0,55	2650	0,4	1380					
133—4/2	0,75	2680	0,55	1400	133—8/4	0,3	1350	0,2	660
135—4/2	1	2700	0,75	1400	135—8/4	0,36	1350	0,25	670
137—4/2	1,3	2700	1	1400	137—8/4	0,5	1360	0,36	670
					153—8/4	0,8	1370	0,6	680
155—4/2	2,2	2750	1,6	1410	155—8/4	1,1	1380	0,8	680
157—4/2	3	2750	2,2	1410	157—8/4	1,5	1380	1,1	690
185—4/2	4	2800	3	1410	185—8/4	2,2	1390	1,5	690
187—4/2	6	2820	4,5	1420	187—8/4	3	1400	2,2	700
235—4/2	8	2850	6	1420	235—8/4	4,2	1400	3	700
237—4/2	10	2880	7,5	1440	237—8/4	6,3	1410	4,5	710
265—4/2	15	2900	11	1440	265—8/4	8	1420	6	710
267—4/2	20	2900	16	1450	267—8/4	12	1440	8,5	710
b) Sever, Subotica									
NZKn					NZKn				
1/2—4	1,5	2880	1,1	1420	1/4—8	1,1	1420	0,9	690
2/2—4	2,2	2890	1,6	1430	2/4—8	1,5	1430	1,2	700
3/2—4	3	2900	2,2	1440	3/4—8	2,2	1440	1,5	700
4/2—4	4	2920	3	1440	4/4—8	3	1440	2,3	705
6/2—4	5,5	2920	4,4	1450	6/4—8	3,8	1450	3	710
7/2—4	7,5	2930	6	1450	7/4—8	5	1450	4	710
9/2—4	11	2940	9	1450	9/4—8	7	1450	5,5	715
10/2—4	15	2950	12	1450	10/4—8	9	1450	7,5	715
12/2—4	20	2950	16	1460	12/4—8	12	1460	10	720
15/2—4	25	2950	20	1465	15/4—8	18,5	1465	15	720
20/2—4	30	2955	24	1465	20/4—8	22	1465	18	725
c) Elektrokovina, Maribor									
TMp									
4kk—2/4	0,18	2630	0,12	1350					
4k —2/4	0,25	2680	0,18	1350					
4n —2/4	0,37	2730	0,25	1350					
15k —2/4	0,55	2780	0,37	1410					
15n —2/4	0,8	2820	0,55	1410					
15d —2/4	1,1	2820	0,8	1410					
24n —2/4	1,5	2850	1,1	1425					
24d —2/4	2,2	2850	1,5	1425					

Pazi!

Ostale podatke, težine i mjere vidi za odgovarajuće tipove normalnih motora (bez polnog preklapanja) na ovim stranama:
»Rade Končar«: strane 266 do 268.
»Sever«: strana 271.
»Elektrokovina«: strane 269 i 270.

150 α Trofazni kolutni asinhroni motori mali »Rade Končar«

Zaštita: P 33 (zatvoreni motori)

Hlađenje površinsko.

Kućište od silumina.

Oblik: B 3, B 6, B 7, B 8, V 5, V 6

Napon 380/220 V.

Izolacija klase E, prema želji i otporna protiv vlage, protiv kemikalija ili tropska.

Značenje oznaka u tablici: I_n — nazivna struja, M_n — nazivni zakretni moment, M_m — maksimalni (prekretni) moment, GD^2 — zamašni moment.

Nazivna snaga kW	Nazivna snaga KS	Tip	Brzina vrtnje o/min	I_n A	cos φ	Rotor A	Rotor V	M_m/M_n	GD^2 kpm²	Težina[1]) kg
2,8	3,8	2AKZ 185—2	2880	7,2	0,80	13,4	126	3,6	0,05	60
4,0	5,5	2AKZ 187—2	2890	9,2	0,82	14,5	165	3,9	0,06	68
5,5	7,5	2AKZ 235—2	2900	11,2	0,87	20,3	163	3,2	0,126	96
8,5	11,5	2AKZ 237—2	2910	17,0	0,88	25,0	204	2,8	0,16	112
11	15	2AKZ 265—2	2940	21,5	0,88	25,0	265	2,7	0,325	160
15	20	2AKZ 267—2	2950	30,0	0,88	34,5	265	2,6	0,43	190
2,8	3,8	2AKZ 185—4	1410	7,0	0,80	13,7	126	2,8	0,073	62
3,7	5,0	2AKZ 187—4	1420	8,6	0,80	13,8	165	3,0	0,092	70
5,5	7,5	2AKZ 235—4	1430	11,4	0,86	24,0	140	2,9	0,228	100
7,5	10	2AKZ 237—4	1440	15,6	0,86	24,6	198	2,6	0,294	115
11	15	2AKZ 265—4	1450	22,0	0,85	26,5	252	2,6	0,420	162
15	20	2AKZ 267—4	1460	32,0	0,85	30,0	300	2,6	0,550	196

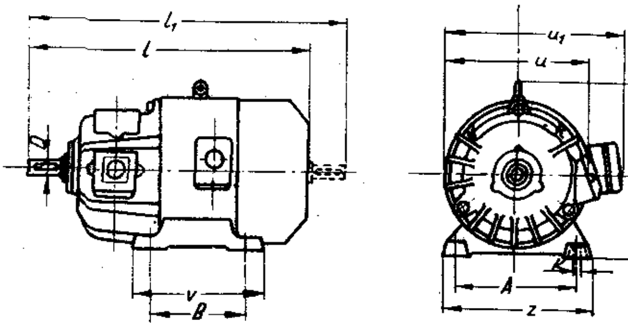
Nastavak na narednoj strani (šestoropolni i osmoropolni motori).

[1]) Bez remenice, za oblik s nogama B 3.

Kolutni trofazni zatvoreni motori »Rade Končar« (nastavak)

Nazivna snaga kW	Nazivna snaga KS	Tip	Brzina vrtnje o/min	I_n A	cos φ	Rotor A	Rotor V	M_m/M_n	GD^2 kpm²	Težina[1] kg
1,7	2,3	2AKZ 185-6	910	5,3	0,68	12,1	94	2,4	0,07	62
2,5	3,4	2AKZ 187-6	910	7,5	0,7	13,0	126	2,4	0,087	69
4,0	5,5	2AKZ 235-6	940	9,4	0,79	20,0	120	2,2	0,30	97
5,5	7,5	2AKZ 237-6	950	12,6	0,8	22,0	160	2,4	0,37	113
7,0	9,5	2AKZ 265-6	950	15	0,8	23,0	185	2,6	0,39	158
9,0	12	2AKZ 267-6	960	20	0,8	28,0	198	2,6	0,53	189
1,1	1,5	2AKZ 185-8	700	3,3	0,67	9,4	72	2,9	0,10	61
1,5	2,0	2AKZ 187-8	700	4,2	0,70	10,0	92	3,0	0,15	69
3,0	4,0	2AKZ 235-8	705	7,5	0,77	15,3	120	2,3	0,31	96
4,0	5,5	2AKZ 237-8	710	9,7	0,77	18,0	135	2,2	0,41	112
5,5	7,5	2AKZ 265-8	710	12,6	0,80	24,0	140	2	0,55	158
7,0	9,5	2AKZ 267-8	710	16,5	0,82	23,4	185	2,3	0,73	190

Mjerna skica za oblik B3



Mjere u milimetrima

Veličina	A	B	D	H	K	b*	d*	l	l_1	t	u	u_1	v	z
2AKZ 185	250	190	28	160	15	100	160	556	619	328	265	335	250	310
2AKZ 187	250	190	32	160	15	120	160	611	694	328	265	335	250	310
2AKZ 235	280	224	32	180	18	120	200	642	726	388	330	413	294	340
2AKZ 237	280	224	38	180	18	120	225	687	771	388	330	413	294	340
2AKZ 265	315	250	42	200	18	140	250	729	844	440	375	472	325	380
2AKZ 267	315	250	48	200	18	170	280	799	914	440	375	472	325	380

[1]) Bez remenice, za oblik s nogama B 3.
* b — širina remenice, d — promjer remenice.

150 b Trofazni kolutni asinhroni motori mali i srednji »Sever«

Zaštita: P 11 ili P 33. Kućište od sivog liva. Osnovni oblici B 3, B 5 i V 1, na zahtjev i drugi srodni oblici. Napon 380 V (na zahtjev i 220, 440, 500 ili 550 V). Izolacija klase A, po želji otporna protiv vlage, protiv kemikalija ili za tropske uvjete.

Remenski prijenos plosnatim remenom ne može se upotrijebiti za veličine OPS ili ZPS 75 do 90.

»Sever« proizvodi kolutne motore i većih snaga od onih koje su navedene u tablici dolje: zaštićene motore (zaštita P 21) do 400 kW, zatvorene motore (zaštita P 33) do 450 kW.

Otvoreni motori (zaštita P11)					Zatvoreni motori (zaštita P33)					
Tip OPS	Težina* ≈ kg	Snaga kW za p = 4	6	8	Tip ZPS	Težina* ≈ kg	Snaga kW za p = 4	6	8	10
10	210	13	9,5							
15	260	20	15							
20	330	27	20	15	20A	430	22	18,5	11	
25	440	33	27	18,5	25	490	27	22	15	
30	520	47	36	22	30	620	40	30	20	
40	600	55	44	30	40	670	50	37	27	18,5
50	880	80	60	40	50	880	75	55	44	30
60	1000	100	80	60	60	1000	92	75	60	50
70	1200	125	110	80	70	1130	110	92	75	62
75	1400	150	125	107	75	1200	125	100	80	70
80	1550	184	150	125	80	1300	140	110	90	80
90	1700	220	184	150	85	1450	160	125	100	90

Broj polova označuje se u tipu zadnjom brojkom. Primjer potpune oznake tipa: ZPS 20A/6 (šestoropolni zatvoreni motor 18,5 kW).

Mjere u mm za oblik B 3
(Oznake u tablici jednake kao na mjernoj skici na strani 279)

Veličina	A	B	D	H	K	b	d	i	t	u	u_1	v	z
OPS 10	320	315	42	250	23	140	250	741	515	410	480	400	440
OPS 15	320	420	45	250	23	170	280	845	530	410	480	500	430
OPS 20	360	350	50	265	23	200	320	890	560	444	515	425	450
OPS 25	375	400	55	250	23	200	320	1030	552	460	555	470	455
OPS 30	400	450	65	290	27	230	400	1000	620	490	560	550	500
OPS 40	515	380	65	340	27	230	400	1154	745	610	716	470	610
OPS 50	515	440	75	340	27	260	450	1230	745	610	716	520	610
OPS 60	640	500	75	400	34	260	500	1249	910	800	910	630	780
OPS 70	640	550	85	400	34	300	560	1329	910	780	975	690	780
OPS 75	640	550	90	400	34	—	—	1357	910	780	975	690	780
OPS 80	690	550	90	450	34	—	—	1450	995	820	1005	690	830
OPS 90	770	580	95	500	40	—	—	1586	1100	936	1105	740	940
ZPS 20A	385	360	45	280	23	170	280	993	615	530	630	420	475
ZPS 25	385	410	55	280	23	200	320	1044	615	530	630	500	475
ZPS 30	520	375	65	320	27	230	400	1162	714	620	720	445	620
ZPS 40	520	420	65	320	27	230	400	1210	714	620	720	500	620
ZPS 50	560	400	75	380	27	260	450	1165	854	740	840	500	660
ZPS 60	560	470	75	380	34	260	500	1217	854	740	840	570	660
ZPS 70	650	600	85	400	34	300	560	1390	892	780	910	720	770
ZPS 75	650	600	85	400	34	—	—	1496	891	780	910	720	770
ZPS 80	740	600	90	450	34	—	—	1500	1020	900	1045	720	860
ZPS 85	740	600	90	450	34	—	—	1696	1020	900	1045	720	860

*Težina četveropolnog motora, bez remenice, za oblik s nogama B 3. Težina motora s više polova neznatno se razlikuje.

Trofazni asinhroni motori, srednji

151 a) »Rade Končar«, Zagreb

Oblik s nogama B 3 i srodni oblici. Normalni napon: kaveznih motora 380 V Δ, kolutnih motora 380 V ⅄, 220 V Δ, na zahtjev i drugi naponi. Propisi: IEC (temperatura okoline do 40° C).

Zaštićeni motori (zaštita P 21)

Veličina*	Kavezni motori tip 2A						Kolutni motori tip 2AP ili 2AK					
	Snaga u kW za broj polova						Snaga u kW za broj polova					
	2	4	6	8	10	12	2	4	6	8	10	12
305	28	28	22	18			25	25	20	16		
307	36	36	28	22			32	32	25	20		
355	45	45	36	28	22	18	40	40	32	25	20	16
357	56	56	45	36	28	22	50	50	40	32	25	20
405	72	72	56	45	36	28	64	64	50	40	32	25
407	90	90	72	56	45	36	80	80	64	50	40	32
465	110	110	90	72	56	45	100	100	80	64	50	40
467	140	140	110	90	72	56	125	125	100	80	64	50
525		180	140	110	90	72		160	125	100	80	64
527		220	180	140	110	90		200	160	125	100	80
605		280	220	180	140	110		250	200	160	125	100
607		360	280	220	180	140		315	250	200	160	125

Zatvoreni motori (zaštita P 33)

Veličina*	Kavezni motori tip 2AZ*						Kolutni motori tip 2APZ ili 2AKZ*					
	Snaga u kW za broj polova						Snaga u kW za broj polova					
	2	4	6	8	10	12	2	4	6	8	10	12
307	22	22	18	14			20	20	16	12,5		
355	28	28	22	18	14	11	25	25	20	16	12,5	10
357	36	36	28	22	18	14	32	32	25	20	16	12,5
405	45	45	36	28	22	18	40	40	32	25	20	16
407	56	56	45	36	28	22	50	50	40	32	25	20
465	72	72	56	45	36	28	64	64	50	40	32	25
467	90	90	72	56	45	36	80	80	64	50	40	32
525			90	72	56	45		100	80	64	50	40
527			110	90	72	56		125	100	80	64	50
605			140	110	90	72		160	125	100	80	64
607			180	140	110	90		200	160	125	100	80

Na zahtjev mogu se gornji motori dobaviti kao dizalični, polno preklopivi za dvije do četiri brzine kao i u izvedbi povećane sigurnosti (Se)s.

»Rade Končar« proizvodi i veće motore od gore navedenih.

152 b) »Sever«, Subotica

Vidi 147e na strani 271 (kavezni motori) i 150b na strani 276 (kolutni motori).

---

* U potpunoj oznaci tipa dolazi najprije tip, pa veličina, pa broj polova, npr. 2AZ 407-4. Kolutni motori tipa 2AP i 2APZ imaju uređaj za kratko spajanje kliznih koluta i podizanje četkica, dok motorima tipa 2AK i 2AKZ četkice ostaju trajno prilegnute na klizne kolute.

153

Jednofazni kavezni asinhroni motori

a) »Rade Končar«, Zagreb

P o m o ć n a   f a z a: sa zaletnim kondenzatorom koji se nakon zaleta automatski isklapa pomoću centrifugalne sklopke.

Z a š t i t a P 33.

O b l i k: s nogama B 3, B 6, B 7, B 8, V 5, V 6.

K u ć i š t e od silumina.

N a p o n: 110/220 V (prespajanje spojnicama na priključnoj ploči).

U p o t r e b a: za pogone s teškim zaletom i koji se češće uključuju (do 30 puta na sat) (npr. kompresorski hladionici, strojevi za pranje rublja, pumpe, centrifuge).

Nazivna snaga W	Nazivna snaga KS	T i p	Brzina vrtnje o/min	I_n* A	cos φ	$\frac{I_k}{I_n}$	$\frac{M_p}{M_n}$	$\frac{M_m}{M_n}$	Težina[1]) pribl. kg
92	0,12	AZc 103-2	2700	1,65	0,7	2,33	2,5	1,8	6,1
150	0,2	AZc 105-2	2800	2,3	0,7	3,0	2,7	2,0	7,4
250	0,34	AZc 107-2	2800	2,9	0,72	3,0	2,6	2,0	9,8
370	0,5	AZc 133-2	2800	4,1	0,74	3,4	2,6	2,0	12
550	0,75	AZc 135-2	2830	5,8	0,75	3,6	2,5	2,0	15
750	1	AZc 137-2	2850	6,8	0,76	4,0	2,5	2,2	17
92	0,12	AZc 103-4	1400	1,7	0,6	2,3	2,6	2	6,1
120	0,17	AZc 105-4	1400	2,15	0,6	2,3	2,7	2	7,1
220	0,3	AZc 107-4	1400	3,2	0,64	2,7	2,6	2	9,9
300	0,4	AZc 133-4	1420	4,2	0,65	3,3	2,9	2	13
400	0,55	AZc 135-4	1420	5,5	0,65	3,6	2,9	2	15
550	0,75	AZc 137-4	1420	6,2	0,66	3,5	2,7	2	17
750	1	AZc 155-4	1440	7,5	0,7	4,3	3,0	2	26
150	0,2	AZc 133-6	930	2,5	0,62	3,0	2,6	2	13
185	0,25	AZc 135-6	930	3,2	0,62	3,6	2,6	2	16
245	0,33	AZc 137-6	945	3,8	0,62	3,1	2,5	2,1	18
370	0,5	AZc 153-6	950	5,5	0,64	3,0	2,5	2	20
550	0,75	AZc 155-6	950	8	0,66	3,0	2,5	2	25
880	1,2	AZc 157-6	950	12,5	0,66	2,6	2,5	2	32

M j e r e: Kao za jednake veličine kaveznih trofaznih motora (vidi 268. stranu), samo što je ukupna visina t_1, zbog prigrađene centrifugalne sklopke, veća i iznosi:

Veličina	103	105	107	133	135	137	153	155	157
t_1 mm	155,5	155,5	155,5	218	218	218	256	256	267,5

* Za napon 220 V.

[1]) Bez remenice.

Jednofazni kavezni asinhroni motori (nastavak)

b) Croatia, Zagreb

Zaštita P 11, kućište od silumina, oblik s nogama B 3 ili srodni oblici, napon 220 V, s kondenzatorom.

Tip	o/min	kW	A	kg	Tip	o/min	kW	A	kg
KDF 3/2	2750	0,18	1,3	6,9	KDF 3/4	1380	0,12	0,9	6,9
KDF 13/2	2760	0,36	2,4	9,9	KDF 13/4	1390	0,17	1,3	9,9
KDF 23/2	2800	0,55	3,6	16,3	KDF 23/4	1410	0,36	2,3	15,8
KDF 33/2	2820	1,1	7,1	23,8	KDF 33/4	1390	0,74	6,6	23,0

c) Elektrokovina, Maribor

Tip EMpS 15 i EMpSt 15 — motori s otporskom pomoćnom fazom koja se isklapa centrifugalnom sklopkom: za pogone koji se pokreću pod teretom ali uz ne naročito veliki potezni moment i ne uklapaju se često. — Tip EMpSk 15, EMpSkt 12, EMvSk 24 i EMvSkt 24 — motori sa zaletnim kondenzatorom koji se isklapa pomoću centrifugalne sklopke: za pogone s teškim zaletom i koji se češće uklapaju (npr. kompresorski hladionici, strojevi s velikim masama). — Tip EMpk 4, EMpka 4 i EMpk 15 — motori s pogonskim kondenzatorom gdje kondezator u pomoćnoj fazi ostaje stalno uklopljen: za pogone s lakšim zaletom koji se češće uklapaju (npr. strojevi za pranje rublja, pumpe, ventilatori). — Tip EMr 04 — motori s kratko spojenom pomoćnom fazom: za pogone malih snaga s malim poteznim momentom (npr. mali ventilatori, gramofoni, kućanski aparati).

Z a š t i t a : P 33 (zatvoreni motori) za tipove EMpk 4 i EMp 15.
P 11 (zaštićeni motori) za tipove EMr 04 i EMvS 24.

O b l i k : S nogama B 3 (ili B 6, B 7, B 8, V 5, V 6) ili prigradni B 14 (ili V 18, V 19).

K u ć i š t e : od silumina, svih motora osim onih koji imaju u oznaci slovo v. Njihovo kućište je od čeličnog lima.

N a p o n : normalno 220 V, na zahtjev 110 V.

U k l a p a n j e : direktno na mrežu preko motorske zaštitne sklopke. Motorima tipa EMpSt 15, EMpSkt 15 i EMvSkt 24.

O z n a k a t i p a : E — jednofazni (slovenski: enofazni), M — motor, p — hlađenje zračnom strujom po površini motora, v — hlađenje zračnom strujom kroz motor, S — sa centrifugalnom sklopkom, k — sa kondenzatorom, t — sa termičkom zaštitom, r — sa rascjepljenim polovima, a — specijalno pričvršćenje.

Veličina	Nazivna snaga motora u vatima						Težina[4]) kg
	EM	EMpk[1])		EMpS[2])		EMvSk[3])	
	4-polni	2-polni	4-polni	2-polni	4-polni	4-polni	
04 k	45						1,50
4 kk		180	125				4,85
4 k		250	180				5,35
4 n		370	250				5,9
15 kk				250	180		9,8
15 k		550	370	370	250		9,8
15 n		750	550	550	370		12,7
15 d		1100	750	750	550		14,6
24 k						550	18,0
24 n						750	22,1
24 d						1100	30,5

Primjer potpune oznake tipa motora: EMpSk 14 kk-4 (zadnja brojka označuje broj polova).

[1]) Isto i EMpka, ali samo 4-polni motori.
[2]) Isto i EMpSt, EMpSk i EMpSkt.
[3]) Isto i EMvSkt.
[4]) Za veličine 4kk do 4n težina za tip EMpk, za veličine 15kk do 15d težina za tip EMpSk.

Jednofazni kavezni motori Elektrokovina, nastavak

Motori standardiziranih snaga i mjera*

Zaštita, kućište, oblik, hlađenje, izolacija i rotor: kao za trofazne motore na strani 269. Normalni napon: 220 V.

Broj polova označen je u tipu zadnjom brojkom. Značenje oznaka u tablici: I_n — nazivna struja, η — korisnost, I_k — struja uklapanja, M_n — nazivni zakretni moment M_p potezni moment, M_m — maksimalni (prekretni) moment.

Nazivna snaga kW	Nazivna snaga KS	Tip	Brzina vrtnje o/min	I_n A	cos φ	η %	I_k/I_n	M_p/M_n	M_m/M_n	Težina približ. kg
1,5	2	ESK 112 S2	2840	11	0,84	74	4,4	2,5	2	
2,2	3	ESK 112 M2	2860	15,5	0,85	77	4,8	2,5	2	
1,1	1,5	ESK 112 SA4	1420	9,5	0,72	73	3,8	2,5	2	
1,5	2	ESK 112 S4	1430	12,3	0,74	74	4,2	2,5	2	
2,2	3	ESK 112 M4	1440	17	0,76	77	4,6	2,5	2	

154

Četkice za električne strojeve

proizvodnje Tvornice ugljenografitnih proizvoda (TUP) »Nikola Mašanović«, Dubrovnik

a) Razni kvaliteti četkica TUP

Kvalitet U: Ovaj je kvalitet izađen od amorfnih vrsti umjetnog ugljena koje se odlikuju velikom mehaničkom čvrstoćom i razmjerno velikom trajnošću, ali malom električkom i termičkom vodljivošću. Upotreba je ograničena na male obodne brzine i malo specifično opterećenje strujom (malu gustoću struje).

Kvalitet G: Od pretežno prirodnog grafita, odlikuje se srednjom električkom i termičkom vodljivošću i dobrim svojstvima čišćenja kolektora. Upotreba za srednje obodne brzine.

Kvalitet GB: Od prirodnog grafita sa vezivom od umjetnih smola, ima veliki električki otpor koji ograničava struje kratkoga spoja u kratko spojenim svicima za vrijeme komutacije pa sprečava iskrenje.

Kvalitet EGG: Specijalna svojstva ovog kvaliteta postignuta su pečenjem određenih kvaliteta od prirodnog grafita na temperaturi koja odgovara za elektrografitiranje: Ovaj kvalitet uspješno radi pri velikim obodnim brzinama.

Kvalitet EG: To je kemijski vrlo čisti ugljik grafitiran u električnim pećima pri vrlo visokoj temperaturi pri kojoj amorfna struktura ugljena prelazi u grafitnu. Izaziva malo trošenje kolektora.

Kvalitet BG i BzG: Ovo je bakreno-grafitni odnosno brončano (bronzano)-grafitni kvalitet, s raznim postocima metala koji je vezan sinterovanjem ili koksnim vezivom. Ove kombinacije koriste dobra mazna svojstva grafita i dobru električku vodljivost bakra.

* To su takozvani »IEC-motori« u skladu s publikacijama IEC br. 72-1 i 72-2, 3. izdanje, te JUS N.G0.020 i N.G0.021, kojima su određene snage i neke mjere motora.

b) Oznake, svojstva i upotreba četkica TUP

Kvalitet	Spec. otpor[1]) μΩcm	Obodna brzina m/s	Gustoća struje[2]) A/cm²	Upotreba i karakteristike
U 1	6500/7500	15	6,5	Na malim ist. i izmjen. strojevima s neistruganom izolacijom. Dobra čisteća svojstva kolektora.
Uk	5000/6000	15	6	Umjereno tvrdi ugljen za upotrebu na malim univerzalnim strojevima i za oduzimače struje.
UG 1	3000/4500	20	7	Ugljeno-grafitni materijal sa smanjenim trenjem. Za ist. generatore s težim uvjetima komutacije.
G 1	900/1800	35	7,5/9	Za ist. strojeve iznad 40 V, svih snaga. za teže uvjete komutacije nastale uslijed prilika u atmosferi te za klizne prstene generatora i asinhr. motora.
GB 1	15000/20000	30	7	Za male univerzalne motore, za srednje izmjen. i ist. strojeve s težim uvjetima komutacije. Ventilatori, tekstilni motori, vučni motori.
EGG 1	900/1200	50	10/11,5	Za velike obodne brzine, npr. za čelične klizne prstene.
EGG 2	750/1000	45	10/11,5	Za ist. strojeve i klizne prstene.
EG 01	1000/1800	20	10/12	Za niskonaponske strojeve velikih struja te za klizne prstene čelične i brončane.
EG 02	1000/1800	40	9	Nešto tvrđi kvalitet od EG 01 prikladan za ist. strojeve.
EG 03	1500/2500	40	10	Za generatore vagonske rasvjete.
EG 04	1500/2500	40	10	Za automobilske dinamo-strojeve, agregate za zavarivanje i ist. strojeve do 100 kW.
EG 10	2500/3500	40	10	Za ist. i izmjen. motore, kvalitet vrlo otporan prema iskrenju.
EG 11	2500/3500	40	10	Za tramvajske i trolejbusne vučne motore.
EG 21	2500/3500	50	10	Za dizel-električne vučne motore.
EG 31	3500/4500	40	10	Za ist. strojeve velikih snaga, te za uzbudnike generatora.
EG 32	3500/4500	40	10	Kvalitet se odlikuje dobrim svojstvima komutacije, sličan kvalitetu EG 31.
EG 33	3500/4500	40	9,5	Sličan kvalitetu EG 32, ali je porozniji te mu je potrošnja nešto veća na račun poboljšanih svojstava komutacije.
EG 34	4500/6500	60	11	Za uzbudnike turbogeneratora, za bagerske strojeve.
EG 35	4500/6500	40	10	Za teže uvjete komutacije izmjeničnih kolektorskih strojeva.
BG 60	250/500	30	11/14	Za ist. strojeve do 60 V, za klizne prstene generatora.
BG 75	80/150	30	11/14	Za ist. strojeve do 25 V, za pokretače, za brončane klizne prstene.
BG 82	10/15	30	15/23	Za pokretače i brončane klizne prstene.

Primjedbe vidi na narednoj strani iza tablice i dolje.

Oznake, svojstva i upotreba četkica TUP (nastavak)

Kvalitet	μΩcm [1]	m/s	A/cm² [2]	Upotreba i karakteristike
BG 85	10/15	25	15/23	Za ist. strojeve do 12 V, za pokretače i klizne prstene asinhronih motora.
BG 88	7/10	20	15/23	Sličan kvalitetu BG 85, s nešto većim postotkom bakra.
BG 92	5/7	20	17/23	Za pokretače do 6 V te za jače opterećene klizne prstene asinhronih motora.
BzG 1	20/25	20	17/23	Za tvrde prstene.
BzG 2	4,5/7	20	17/23	Za pokretače.

Pad napona kod normalne gustoće struje iznosi: Za kvalitet U i UG 1,4 do 3 V, za G 2 do 3 V, za GB iznad 2,5 V, za EGG 1 do 1,1 V, za EG 1 do 1,5 V, za BG i BzG 0,2 do 0,75 V. — Koeficijent trenja iznosi: Za kvalitet U, UG i GB 0,12 do 0,2, za EGG 0,12 do 0,15, za EG, BG i BzG 0,11 do 0,20. — Pritisak četkice preporučuje se da iznosi: Za kvalitet EGG 140 p/cm², za sve ostale kvalitete 200 p/cm² (pond = gram sile, vidi 26a, str. 65).

155 Usporedbena tablica četkica raznih tvornica

TUP	Lessing	Morgan	S&E	Ringsdorf
U 1	1033	C3	G	WP
Uk	T	C4	GA	836
UG 1	GR 10	A	4247	S 1
G 1	GR 10	HM 3	F 7	RU 10
GB 1	74 U	IM 3	F 94	2065
EGG 1	EL 0	HM 5 H	F 10	RU 5
EGG 2	GW 19	HM 5	F 7	
EG 01	EL 1	EG 0	E 110	RP 3
EG 02	E 22 X			
EG 03	EL 1 U		E 4350	HK 6
EG 04	EL 2 U	EG 6749	E 2027	8618
EG 10	EL 3 U	EG 3	E 1090 Y	RE 1
EG 11	E 33 X	EG 3 F	E 3500	8618 W
EG 21	E 55 X	EG 140	E 2976 S	RE 59 n
EG 31	EL 4	EG 12		8618 W
EG 32	EL 5	EG 14	E 2027	RE 59 W
EG 33	MM 23	EG 14	E 4196	RE 59
EG 34		EG 16	E 3532	
EG 35	MM 23 X	EG 8101	E 3202 S	RE 59 n
BG 60	1442, PM 43	CM 6		EN 60
BG 75	P 20 N, PN 25	CM 5 H	A 20 S	EN 1350
BG 82	P 1515 T	CM 2	A 10 S	EN 12
BG 85	PN 11	CMIS	B 4	CL 10
BG 88	PN 9	CM	B 2	
BG 92	PN 27	CMO	B 2	EN 12
BzG 1	P 13 KO		B 425	CL 11
BzG 2	P 12 KO			CL 19

[1] Prvi broj je donja, drugi gornja granica specifičnog otpora.
[2] Prvi broj za rad četkica na kolektoru, a drugi na kliznom prstenu.

TRANSFORMATORI

Označivanje spoja transformatora

Prema preporukama IEC i odredbama JUS za transformatore označuju se spojevi trofaznih transformatora ovim slovima:

Spoj u trokut: Strana gornjeg napona D, donjeg napona d.

Spoj u zvijezdu: Strana gornjeg napona Y, donjeg napona y.

Spoj u cikcak: Strana gornjeg napona Z, donjeg napona z.

U oznaci spoja dolazi najprije slovo za spoj na strani gornjeg napona, zatim slovo za spoj na strani donjeg napona, pa onda karakteristični broj koji pokazuje za koliko je kazaljka (vektor) napona na strani donjeg napona pomaknuta prema kazaljci napona na strani gornjeg napona. Na primjer Dy 11.



Karakteristični broj dobiva se ovako: Dijagram kazaljki ucrta se u sliku nekog sata tako da se zvjezdište dijagrama poklapa sa središtem sata, a kazaljka napona *U* na strani gornjeg napona da se poklapa sa minutnom (velikom) kazaljkom koja stoji na 12. Kazaljku napona *u* na strani donjeg napona zamišljamo tada satnom (malom) kazaljkom koja kao da pokazuje koliko je sati. Karakteristični broj oznake spoja jednak je broju sati koji pokazuje kazaljka donjeg napona *u* u ovakvom dijagramu. Stoga se karakteristični broj naziva satnim brojem. Satni broj spoja na slici je 11 jer kazaljka napona *u* na strani donjeg napona pokazuje »11 sati«. Oznaka spoja prema slici je Dy 11. Fazni kut između gornjeg i donjeg napona dobije se za ovaj način označivanja tako da se satni broj pomnoži sa 30. Npr. u spoju Dy 11 fazni kut je $11 \cdot 30 = 330^0$.

Smjer vrtnje kazaljki u dijagramu uzima se protivnim smjeru okretanja kazaljki na satu*.

Oznake spoja transformatora IEC i stare oznake VDE

IEC	VDE	IEC	VDE	IEC	VDE	IEC	VDE
Dd 0	A 1	Dy 5	C 1	Dd 6	B 1	Dy 11	D 1
Yy 0	A 2	Yd 5	C 2	Yy 6	B 2	Yd 11	D 2
Dz 0	A 3	Yz 5	C 3	Dz 6	B 3	Yz 11	D 3

Spoj transformatora s više od dva namota označuje se tako da se najprije navede oznaka načina spoja namota najvišeg napona, a zatim, po redu opadajućih napona, oznake načina spoja ostalih namota s odgovarajućim oznakama pomaka, uzevši kazaljku najvišeg napona kao početnu kazaljku.

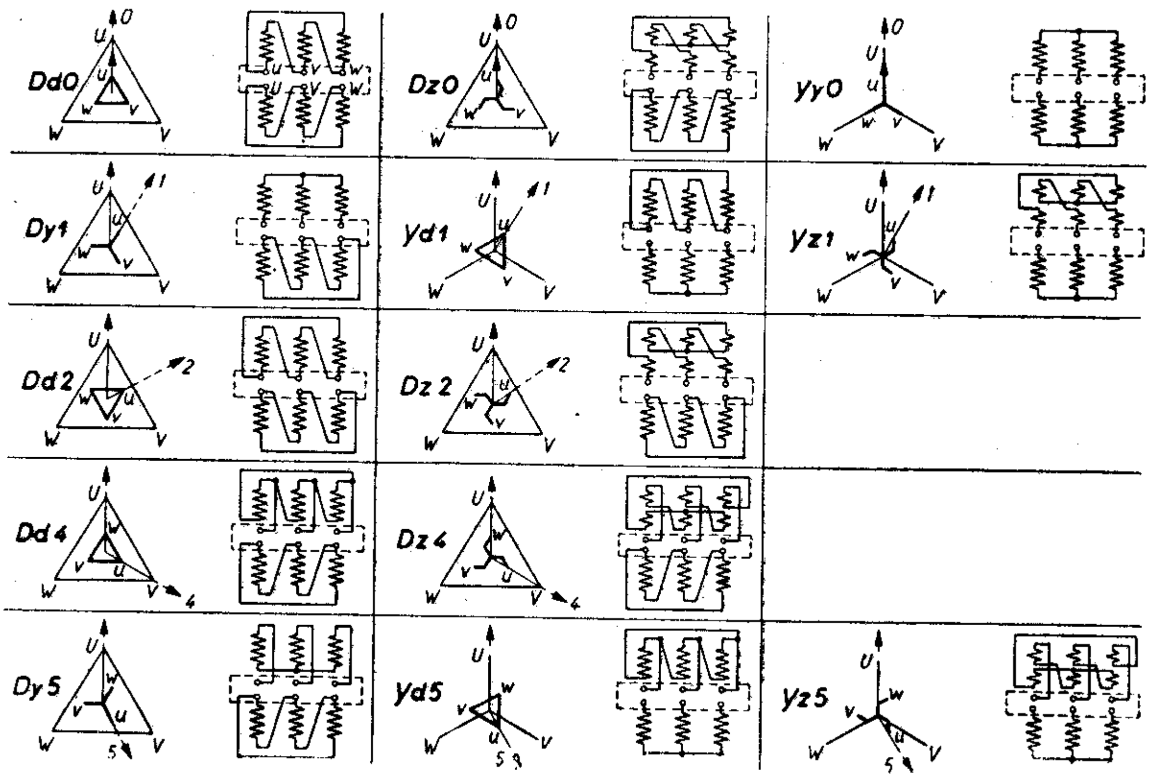
Primjeri: Y, y0, d5; Y, d5, d5.

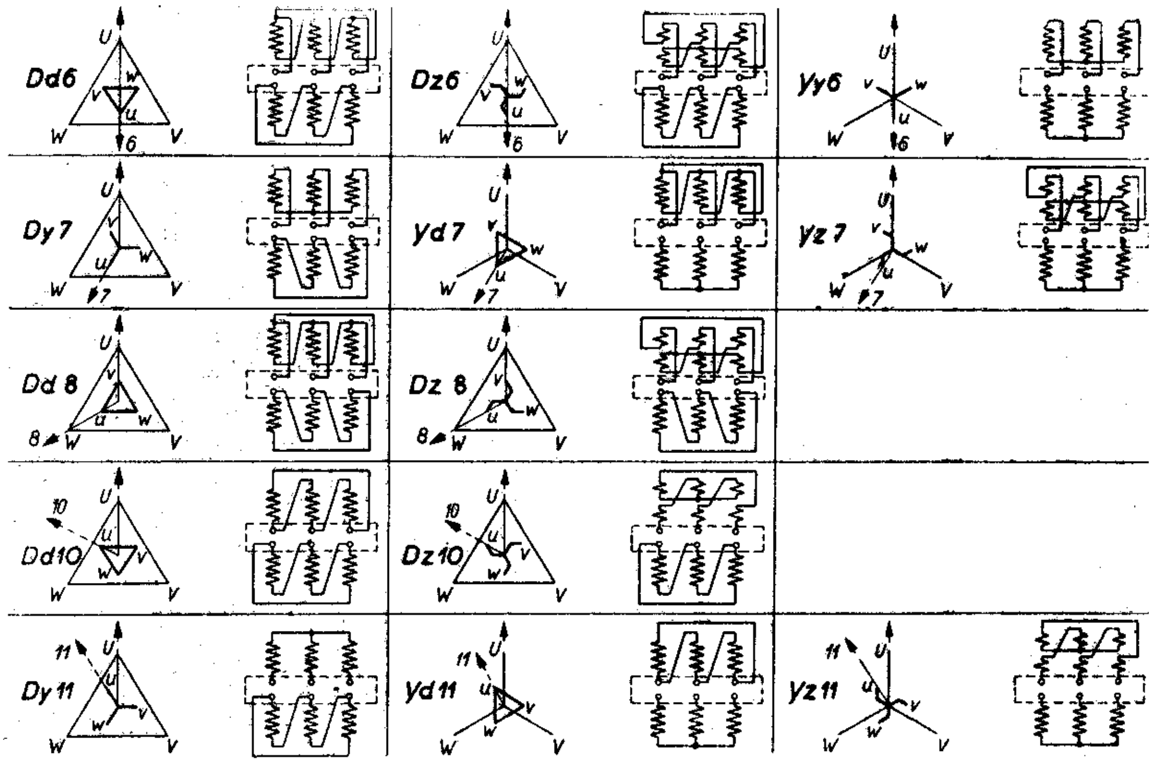
---

* Prema zaključku IEC-a na zasjedanju u Torinu god. 1912.

157

Oznake i dijagrami kazaljki za razne transformatorske spojeve*





* Prema novom jugoslavenskom standardu JUS N.H1.010/1962 stezaljke gornjeg napona označavaju se sa A, B, C (umjesto U, V, W), a stezaljke donjeg napona sa a, b, c (umjesto sa u, v, w).

158 Paralelni rad transformatora

a) Uvjeti za besprijekorni paralelni rad

1. Jednaki prenosni omjer.

2. Jednaka spojna grupa odnosno spoj različitih spojnih grupa prema b) i 159.

3. Približno jednak napon kratkog spoja (u_k). Taj se u_k jednog transformatora ne smije razlikovati za više od $\pm 10\%$ od aritmetičke sredine u_k ostalih transformatora. Ako u_k nije jednak, povoljno je da manji transformator ima veći u_k.

4. Istoimene stezaljke transformatora jednakog spoja treba spojiti na istu šinju sabirnice. Ako im je spoj različit, tada prema 159.

5. Omjer nazivnih snaga neka ne bude veći od 3 : 1.

Ako transformatori ne rade paralelno na iste sabirnice već preko mreže, može se od uvjeta 1, 3 i 5 to više odstupiti što je prividni otpor mreže između transformatora veći.

b) Spojne grupe i paralelni rad

Spojevi transformatora mogu se podijeliti u 4 spojne grupe:

grupa I	— satni brojevi	0	4	8
grupa II	— satni brojevi	6	10	2
grupa III	— satni brojevi	1	5	
grupa IV	— satni brojevi	7	11	

Transformatori kojih spojevi imaju jednaki satni broj mogu raditi paralelno ako im se stezaljke označene istim slovom na primarnoj i sekundarnoj strani spoje na istu fazu (npr. obično *U* i *u* na fazu *R*, *V* i *v* na fazu *S*, *W* i *w* na fazu *T*).

Paralelno mogu raditi i transformatori s raznim satnim brojevima ako pripadaju istoj spojnoj grupi. Tada ih treba spojiti prema shemi spoja u 159 na primarnoj strani normalno (*U* na *R*, *V* na *S*, *W* na *T*), a na sekundarnoj strani ciklički izmijeniti spojeve.

(Razlika u satnim brojevima je uvijek 4 ili 8 čemu odgovara fazni pomak od 120^0 odnosno 240^0, tj. jednak faznom pomaku između faza. Cikličkom zamjenom priključka prema slici 159 postizava se tada jednakost faza.)

Može se dakako načiniti i tako da se transformatori sekundarno spoje normalno, a primarno se spojevi ciklički izmijene.

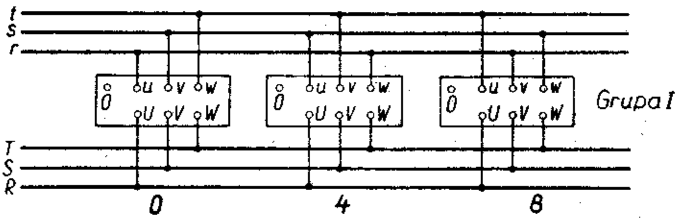
Paralelno mogu štoviše raditi i transformatori grupe III sa transformatorima grupe IV. U tom slučaju treba promijeniti redoslijed faza jednog transformatora prema drugom. Dva primjera spoja za paralelni rad prikazana su u **159** za transformatore 1 i 11 te 5 i 11. Daljnje mogućnosti: a) Transformatori 1 i 7: Tr. 1 spojen: *U* na *R*, *V* na *S*, *W* na *T*; *u* na *r*, *v* na *s*, *w* na *t*. Tr. 7 spojen: *U* na *R*, *V* na *T*, *W* na *S*; *u* na *s*, *v* na *r*, *w* na *t*. b) Transformatori 5 i 7: Tr. 5 spojen kao Tr. 1 pod a). Tr 7 spojen: *U* na *R*, *V* na *T*, *W* na *S*; *u* na *r*, *v* na *t*, *w* na *s*.

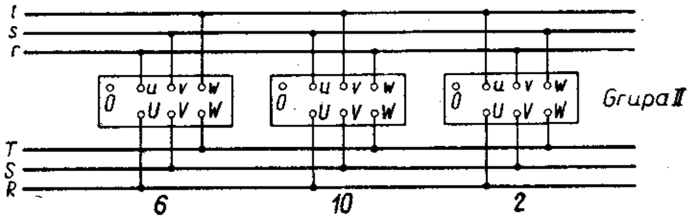
Primjedba: Prema novom JUS N.H1.010/1962 stezaljke gornjeg napona označavaju se sa A, B, C (umjesto U, V, W), a stezaljke donjeg napona sa a, b, c (umjesto u, v, w).

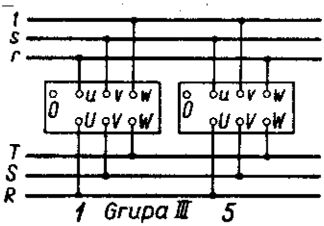
159

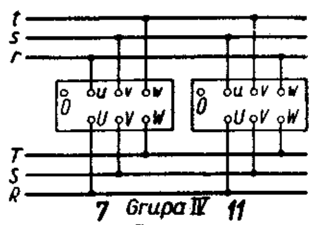
Paralelno spajanje trofaznih transformatora

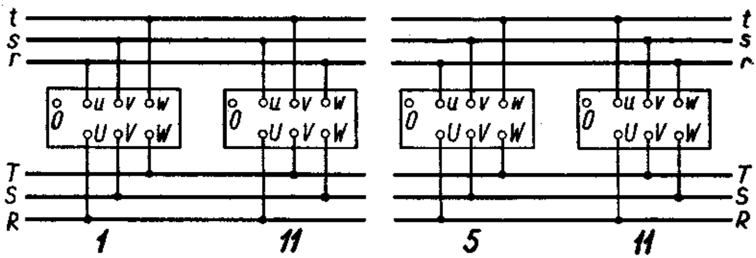
Shema spoja (vidi upute u 158 i 262). Brojevi ispod transformatora jesu satni brojevi.











Paralelni spoj transformatora grupe III sa transformatorima grupe IV

Vidi primjedbu na kraju strane 286.

160 a Dopušteno ugrijanje transformatora prema JUS

JUS N.H1.010/1962 (»Energetski transformatori, opći tehnički propisi«)

Pretpostavke za najvišu temperaturu rashladnog sredstva

a) Za transformatore hlađene vodom: voda na ulazu u hladionik 25° C

b) Za transformatore hlađene zrakom:

— najviša temperatura okolnog zraka . . . . 40° C

— srednja dnevna temperatura okolnog zraka . . . . . . 30° C

— srednja godišnja temperatura okolnog zraka . . . . . 20° C

<table>
<tr><th rowspan="2">Dio transformatora</th><th colspan="4">Granično povišenje temperature u °C za klasu izolacionog materijala</th><th rowspan="2">Mjerenje ugrijanja</th></tr>
<tr><th>Y</th><th>A</th><th>E</th><th>B</th></tr>
<tr><td>1. Namot hlađen zrakom</td><td>40</td><td>55</td><td>70</td><td>75</td><td>promjenom otpora</td></tr>
<tr><td>2. Namot u ulju
hlađenje N ili P
hlađenje PU ili VU</td><td>
—
—</td><td>
60
65</td><td>
60
—</td><td>
60
—</td><td>promjenom otpora</td></tr>
<tr><td>3. Ulje u najvišem sloju
zaštićeno od dodira sa zrakom
u dodiru sa zrakom</td><td colspan="4">
55
50</td><td>termometrom</td></tr>
<tr><td>4. Magnetski limovi i ostali dijelovi</td><td colspan="4">Zagrijavanje ne smije štetno djelovati na susjedne dijelove ni na magnetska svojstva transformatorskog lima, niti na izolaciju i svornjake.</td><td>termometrom</td></tr>
</table>

Primjedbe:

1. Vrsti hlađenja vidi u 168. N — prirodno hlađenje, P — prisilna ventilacija, PU — prisilna cirkulacija ulja kroz hladionik hlađen prisilnom ventilacijom, VU — prisilna cirkulacija ulja kroz hladionik hlađen vodom. Za transformatore s prisilnom cirkulacijom ulja, bez obzira da li je ulje hlađeno zrakom (PU) ili vodom (VU), uzima se jednako granično povišenje temperature namota, uprkos tome što je granična temperatura rashladnog zraka viša za 15° C od granične temperature vode.

2. Pojam »termometar« uključuje ovdje i neusađene termoelemente i otporne termometre.

3. Termičku klasifikaciju izolacionog materijala vidi u 111.

4. Najviša dozvoljena temperatura pojedinog dijela transformatora dobije se kao zbroj: vrijednost iz tablice + 40° C.

5. Navedena granična povišenja temperature treba smanjiti za 10% ako je temperatura okolnog zraka viša od ma koje vrijednosti navedene iznad tablice, ali ne prelazi 50° C, odnosno u dnevnom prosjeku 40° C, ni u godišnjem prosjeku 30° C. Tome praktički odgovara smanjenje snage transformatora na 85% (tj. za 15%) prema nazivnoj snazi IEC.

6. Nazivna snaga transformatora je prividna snaga izražena u kVA ili MVA a određena kao produkt između nazivnog sekundarnog napona, nazivne sekundarne struje i faznog faktora ovisnog o broju faza (npr. 1,73 za trofazne transformatore). Ona je računska, a ne fizikalna veličina te stoji prema nazivnom tj. potpunom opterećenju transformatora u istom omjeru kao nazivni sekundarni napon prema sekundarnom naponu pri nazivnom opterećenju. (Nazivno opterećenje transformatora je produkt između sekundarnog napona pri potpunom opterećenju, nazivne sekundarne struje i faznog faktora kad je na primarne stezaljke narinut nazivni napon nazivne frekvencije.)

Dopušteno ugrijanje transformatora prema IEC

160 b

Prema publikaciji IEC br. 76/1955 (»Preporuke IEC za energetske transformatore«) temperatura rashladnog sredstva kao i granično povišenje temperature za klasu izolacionog materijala A i B, za ulje, magnetske limove i ostale dijelove jednako je kao prema JUS. Klasu Y i E ova publikacija još ne sadrži.

Novi zaključci IEC (zasjedanje u Interlakenu **1961.)** i **nacrt** nove **publikacije** iz **1962.** god.) idu za kompletnom revizijom ovog dijela preporuka. **Za suhe transformatore** predlaže se:

Za klasu izol. materijala	A	E	B	F	H	C	
Granično povišenje temp.	60	75	80	100	125	125	°C

Za uljne transformatore predviđena je za namote samo **izolacija klase A**, a granično povišenje temperature namota za sve vrsti **hlađenja 65° C. Granično** povišenje temperature za ulje zaštićeno od dodira sa zrakom 60° C, u dodiru sa zrakom 55° C.

Dopušteno ugrijanje transformatora prema VDE

160 c

(VDE 0532/1.59 — »Pravila za transformatore«)

Pretpostavke za temperaturu rashladnog sredstva: a) Za transformatore hlađene zrakom: najviša temperatura zraka 35° C, prosječna dnevna temperatura ne iznad 25° C, prosječna godišnja temperatura ne iznad 20° C. — b) Za transformatore hlađene vodom: ulazna temperatura rashladne vode 25° C.

Dio transformatora (vrijedi za sve transformatore)	Granično povišenje temperature (nadtemperatura) u °C za izolaciju materijalom klase					
	A	A_0	E	B	F	H
Namoti	60	70	75	85	110	135
Ulje u najgornjem sloju		60				
Željezne jezgre i ostali dijelovi	**Zagrijavanje ne smije oštetiti susjedne materijale (uključivši izolaciju limova i svornjaka) te ne smije pogoršati magnetska svojstva željezne jezgre.**					

Primjedbe: 1. Propisi VDE razlikuju se od standarda JUS i preporuka IEC po tome što pretpostavljaju nižu temperaturu okolnog zraka i dopuštaju veće granično povišenje temperature. Za normalne uljne transformatore izolacioni materijal klase A prema JUS odn. IEC odgovara materijalu klase A_0 prema VDE. Za takav izolacioni materijal JUS odn. IEC dopuštaju ugrijanje 60°, a VDE 70° C. **Prema tome transformator građen za neku snagu prema JUS odn. IEC faktično je jači od transformatora građenog za jednaku snagu prema VDE. Grubo se može uzeti da se transformator građen prema JUS odn. IEC može opteretiti 8% više od transformatora jednake nazivne snage građenog prema VDE,** uz pretpostavku da konačna temperatura namota oba transformatora bude jednaka i uz pretpostavku da temperatura ulja ne prijeđe dozvoljenu granicu.

2. Temperatura rashladne vode transformatora hlađenih vodom ne smije prijeći 25° C. Ipak ni u tom se slučaju ne smiju prekoračiti povišenja temperature prema gornjoj tablici.

3. Vrijednost za nadtemperaturu prema tablici smije se povisiti za 5° C ako je napon na primarnoj strani 5% niži od nazivnog i struja na sekundarnoj strani 5% viša od nazivne.

4. Ugrijanje transformatora koji služe za priključak zemljospojnih gasila smije u slučaju zemljospoja prekoračiti vrijednosti u tablici za 10° C.

5. Prelazi li temperatura rashladnog zraka 35° C odnosno rashladne vode 25° C treba za isto toliko stupnjeva smanjiti nadtemperaturu prema tablici. Obratno, nadtemperatura se smije povisiti (sporazumom između proizvođača i kupca) ako je temperatura rashladnog sredstva niža. Temperatura rashladnog sredstva mora tada biti navedena na označnoj ploči.

6. Temperaturu namota treba mjeriti mjerenjem otpora, a termometrom samo temperaturu namota suhih transformatora i transformatora s neobično malim otporom. Temperaturu ulja treba mjeriti termometrom.

7. Klase izolacionih materijala vidi u 111.

161 Dopušteno preopterećenje transformatora

1. Kratkotrajno preopterećenje

Prethodno opterećenje u postocima nazivne snage	Početna temperatura ulja u °C za hlađenje		Dozvoljeno trajanje preopterećenja za preopterećenje u % nazivne snage				
	N, P*	NU, PU, VU*	10% min	20% min	30% min	40% min	50% min
Za uljne transformatore građene prema JUS odn. IEC							
50			180	90	60	30	15
75			120	60	30	15	8
90			60	30	15	8	4
Za uljne transformatore građene prema VDE (podaci iz VDE 0532/1.59)							
50	55	49	60	30	20	15	12
75	68	60	55	23	15	11	9
90	78	68	45	16	10	7	5

* N — prirodno hlađenje transformatorskog kotla, P — prisiljeno hlađenje prigrađenim ventilatorima, NU — prisilna cirkulacija ulja kroz hladionik hlađen prirodno, zrakom; PU — prisilna cirkulacija ulja kroz hladionik hlađen prisilnom ventilacijom; VU — prisilna cirkulacija ulja kroz hladionik hlađen vodom.

Temperatura ulja mjerena za vrijeme preopterećenja ne daje mjeru o temperaturi na koju su se ugrijali namoti.

Na kraju preopterećenja prema gornjoj tablici temperatura ne prelazi dozvoljene granice.

2. Trajno preopterećenje*

Ako je koeficijent dnevnog opterećenja[1]) ≦ 0,8 (gotovo nikad nije veći), može se grubo uzeti da se transformator smije preopteretiti za toliko postotaka koliko je stupnjeva Celsiusa temperatura zraka niža od 35° C. Ovako izračunato preopterećenje neka ipak ne bude veće od preopterećenja navedenih u ovoj tablici:

Mjesec	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Najveće dozvoljene preoprerećenje %	30	29	24	17	11	9	8	9	12	17	22	27

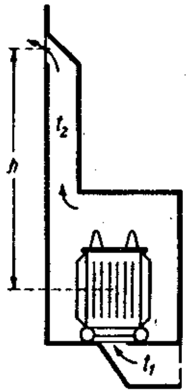
* Prema Elektrotehničeskom spravočniku, II. izdanje (1946.). Navedene vrijednosti ne vrijede za autotransformatore (štedne, dodatne transformatore).

1 Koeficijent dnevnog opterećenja $m = I_{sr} / I_m$ gdje je I_{sr} srednja dnevna struja u A, I_m - maksimalna dnevna struja u A.

3. Izuzetno preopterećenje (npr. za vrijeme kvara)

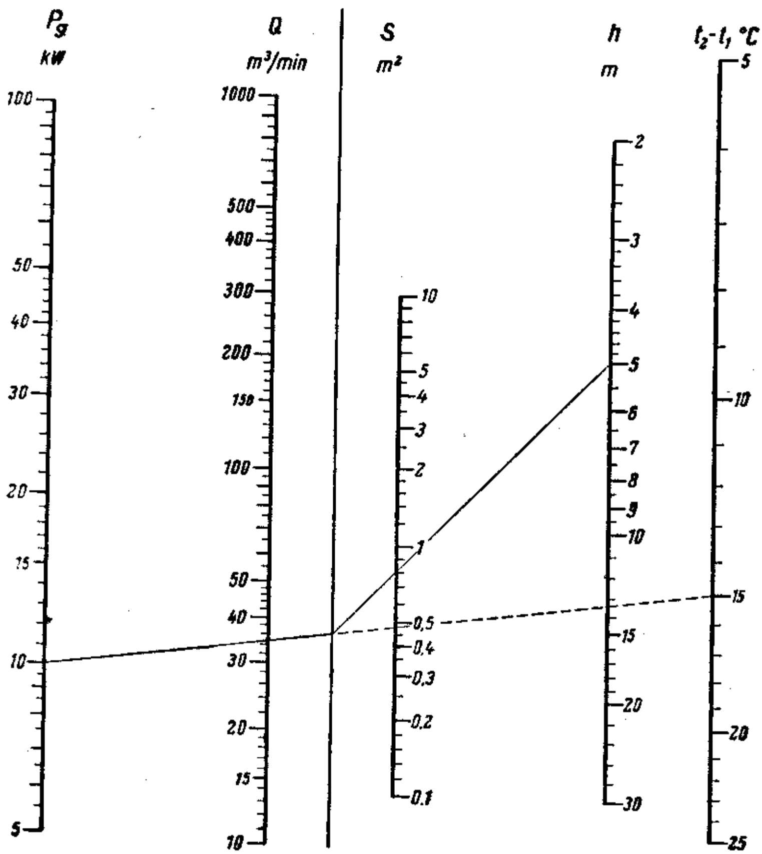
Preopterećenje %	Trajanje preopterećenja za vanjsku montažu	Trajanje preopterećenja za unutarnju montažu	Preopterećenje %	Trajanje preopterećenja za vanjsku montažu	Trajanje preopterećenja za unutarnju montažu
30	2 h	1 h	100	7,5 min	4 min
60	30 min	15 min	200	1,5 min	1 min
75	15 min	8 min			

(Prema sovjetskim podacima.)



Ventilacija transformatorske prostorije **162**

Ako ukupni gubici iznose P_g kW, može se potrebna količina rashladnog zraka Q i presjek zračnog dimnjaka S odrediti pomoću niže navedenog nomograma (iz Siemens, Formel- und Tabellenbuch). Temperatura odlaznog zraka mora se uzeti 40° C (IEC) ili 35° C (VDE). Temperatura dolaznog zraka može se uzeti sa cca 25° C. Otpori su računati za ulaznu rešetku sa očicama 10 do 20 mm te za izlazni otvor sa žaluzijom. Ako je i na izlazu rešetka, može se određeni presjek smanjiti za cca 10%.



163

Podaci za kratki spoj transformatora

1. Dozvoljena temperatura kratkog spoja

Srednja granična temperatura vodiča na kraju kratkog spoja ϑ_g u °C može se izračunati iz formule:

$$\vartheta_g = \vartheta_d + 0{,}008\, s_{ks}^2 t_k$$

gdje je ϑ_d — temperatura vodiča za vrijeme trajnog pogona (°C), s_{ks} — gustoća struje A/mm² u vodiču u toku kratkog spoja, t_k — trajanje kratkog spoja u sekundama.

Prema JUS N.H1.010 dozvoljene su ove granične temperature (za transformatore sa bakrenim namotom):

Klasa izolacije i način hlađenja		Uljni transformatori Klasa A N, P*	Uljni transformatori Klasa A PU, VU*	Suhi transformatori Y	A	E	B
s_{max}	A/mm²	3,7	3,6	2,5	2,8	3,1	3,4
$\vartheta_g - \vartheta_d$	°C	120	115	55	70	85	100
ϑ_g	°C	220	220	135	165	195	220

s_{max} — najveća gustoća struje pod nazivnim opterećenjem.

2. Dozvoljeno trajanje kratkog spoja

Za kruti ulazni (primarni) napon, tj. za zanemarljivu impedanciju mreže te na osnovu vrijednosti navedenih u gornjoj tablici izračunata su ova dozvoljena trajanja kratkog spoja (koja vrijede za suhe i uljne transformatore):

u_k	%	3,5	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
I_k/I_n		28,5	25	20	16,7	14,3	12,5	11	10	9	8,3	7,7	7,2
t_k	s	1,4	1,8	2,8	4,0	5,5	7,2	9	11	13	16	19	22

u_k, I_k, t_k — napon, struja, trajanje kratkog spoja; I_n — nazivna struja.

Ako je izračunata stvarna struja kratkog spoja I_k (tj. ako impedancija mreže nije zanemarena), može se tada iz gornje tablice iz stvarnog omjera I_k/I_n odrediti dozvoljeno t_k.

Ako je transformator u spoju zvijezda-cikcak, treba s obzirom na jednofazne kratke spojeve t_k prema gornjoj tablici smanjiti na polovicu.

3. Najmanja pauza nakon kratkog spoja

a) JUS N.H1.010 propisuje da se nakon kratkog spoja transformator smije ponovo uključiti tek poslije 15 minuta.

b) VDE 0532/1.59 daje ove podatke:

Iskorištenje dozvoljenog trajanja t_k u % vrijednosti prema 1		100	50	20	10
Najmanja pauza za hlađenje					
za izolacione materijale klase A_0	min	10	7	4	2
za izolacione materijale klase A, E, B	min	16	9	4	2

* Oznake za način hlađenja vidi u 162.

164 Opteretivost nultačke transformatora

1. U spoju transformatora zvijezda-zvijezda sa kompenzacionim namotom, zvijezda-trokut, trokut-zvijezda i zvijezda-cikcak nultačka se može opteretiti nazivnom strujom.

2. U spoju transformatora zvijezda-zvijezda bez kompenzacionog namota (kod nas rijetko) nultačka se smije opteretiti samo ako je transformator jezgrastog tipa, i to normalno do 10% nazivne struje, izuzetno do 30% ako je dozvoljen pomak zvjezdišta u naponskom dijagramu za 5 do 10% (npr. priključak zemljospojnog gasila).

165 Način uzemljenja mreže i izolacija transformatora u skladu sa JUS N.H1.010

Najviši napon mreže	Način uzemljenja mreže	Stupanj izolacije	Način izolacije
Do 72,5 kV	Nultačka izolirana ili spojena sa zemljom preko otpora, reaktancije ili svitka za gašenje luka	Puni stupanj izolacije (za mreže 10, 20 i 35 kV)	Podjednaka (jednolika) izolacija
Iznad 72,5 kV	Nultačka mreže direktno uzemljena	Puni stupanj izolacije (samo za mreže 110 kV)	Podjednaka izolacija
			(Stepenasta) izolacija
		Smanjeni stupanj izolacije (za mreže 110 i 220 kV)	Podjednaka izolacija
			Stepenasta izolacija

Smanjeni stupanj izolacije dozvoljen je samo kad za vrijeme pojava nastalih zbog sklapanja, zemljospoja ili drugih pogonskih smetnji najviši efektivni napon priključaka transformatora prema zemlji, kao ni prenaponske zaštite prema zemlji, ne prelazi 80% linijskog napona. Smanjeni stupanj izolacije može se primijeniti u direktno uzemljenim mrežama, tj. u mrežama u kojima se upotrebljavaju odvodnici prenapona za 80% stupnja izolacije.

Na transformatorima priključenim direktno na mrežu može se primijeniti smanjeni stupanj izolacije ako su im namoti spojeni u zvijezdu, a njihove nultačke direktno uzemljene. Nultačka transformatora može se smatrati direktno uzemljenom u slučaju kad se između nultačke transformatora i zemlje nalazi jednozavojni strujni transformator. Kad strujni transformator ima više zavoja, potrebno je posebno ispitati ovakav slučaj.

Kad pojedini transformatori nemaju direktno uzemljene nultačke ili su im namoti spojeni u trokut, smanjeni stupanj izolacije može se primijeniti ako je pri svim pogonskim promjenama omjer nulte reaktancije i direktne reaktancije manji od 3, a omjer nultog otpora prema direktnoj reaktanciji manji od 1, sve promatrano sa strane mreže.

Puni stupanj izolacije mora se upotrijebiti u svim slučajevima gdje nije dopušten smanjeni stupanj izolacije.

166

Ispitivanje izolacije transformatora

A) Prema JUS N.H1.020/1962: »Energetski transformatori« u skladu s publikacijom IEC br. 76/1955

1) Ispitivanje induciranim naponom (provjeravanje izolacije između zavoja)

1.1 Transformatori s podjednakom izolacijom ispituju se ispitnim naponom koji mora biti jednak dvostrukom nazivnom naponu, ali ni na jednom mjestu viši od ispitnih napona prema stupcu 3 (puni stupanj izolacije) odnosno stupcu 4 (smanjeni stupanj izolacije) tablice 44.

1.2 Transformatori sa stepenastom (postepenom, graduiranom) izolacijom ispituju se tako da se između svake vodne stezaljke i uzemljenih dijelova (magnetna jezgra, kućište) pojavi ispitni napon prema stupcu 3 (puni stupanj izolacije) odn. stupcu 4 (smanjeni stupanj izolacije) tablice 44.

1.3 Vrijeme ispitivanja iznosi:

$$t = 60 \frac{2 \times \text{nazivna frekvencija}}{\text{ispitna frekvencija}} \text{ sekunda, ali } \begin{cases} \text{barem } 15 \text{ s} \\ \text{najviše } 60 \text{ s} \end{cases}$$

2) Ispitivanje stranim naponom (50 Hz, 1 min; provjeravanje izolacije namota)

2.1 Ispitivanje počinje s najviše polovinom ispitnog napona. Nakon toga napon se povisuje do punog ispitnog napona za vrijeme ne manje od 10 s. Napon se povisuje kontinuirano ili u stupnjevima od najviše 5% iznosa punog ispitnog napona. Transformator mora izdržati puni ispitni napon 1 min.

2.2 Suhi transformatori ispituju se naponom koji iznosi $2U_m+1$ kilovolt gdje je U_m najviši pogonski efektivni napon mreže.

2.3 Uljni transformatori kojima najviši dopustivi pogonski napon mreže nije veći od 1,1 kV (efektivno) ispituju se sa 2,5 kV.

2.4 Uljni transformatori kojima je najviši dopustivi pogonski napon mreže veći od 1,1 kV, a izolacija im je podjednaka, ispituju se naponima prema stupcu 3 (puni stupanj izolacije) odnosno 4 (smanjeni stupanj izolacije) tablice 44.

2.5 Uljni transformatori sa stepenastom (postepenom, graduiranom) izolacijom ispituju se:

a) Kad je nultačka uzemljena direktno ili preko jednozavojnog strujnog transformatora (ili preko višezavojnog strujnog transformatora, ali s paralelno spojenim odvodnikom prenapona), ispitni napon iznosi 38 kV.

b) Kad su krajevi namota na strani nultačke uzemljeni preko regulacionog transformatora, a paralelno su spojeni odvodnici prenapona, ispitni napon prema stupcu 3 odn. 4 tablice 44 smanjuje se u omjeru najvišeg napona na priključcima regulacionog transformatora i nazivnog napona ispitivanog transformatora.

c) Kad je nultačka izolirana ili uzemljena preko velikog otpora (impedancije, npr. zemljospojnog gasila) a u oba slučaja se između nultačke i zemlje nalazi odgovarajući odvodnik prenapona, ispitni napon iznosi 50% od vrijednosti iz stupca 3 odn. 4 tablice 44.

3. Ispitivanje udarnim naponom

Vrši se samo kao tipsko ispitivanje ili po dogovoru između proizvođača i kupca naponima prema stupcima 5 (puni stupanj izolacije) odn. 6 (smanjeni stupanj izolacije) tablice 44. Oblik vala udarnog napona je 1,2/50.

4. Ponavljanje ispitivanja i ispitivanje rabljenih transformatora

Ako se ispitivanje ponovi, ispitni napon treba smanjiti na 80% vrijednosti za nove transformatore.

Rabljeni transformatori, pa i nakon popravka, moraju izdržati za vrijeme garancije samo 80%, a nakon isteka garancije samo 70% napona za nove transformatore. Stari, posve nanovo namotani transformatori ispituju se kao novi transformatori.

5. Ispitivanje izolatora za transformatore

Ispituje se 1 min podnosivim naponom 50 Hz prema odredbama JUS.

B) Ispitivanje prema VDE 0532/1.59

1. Ispitivanje namota (ispitivanje stranim naponom) (50 Hz, 1 min)

1.1 Kao 2.1. Osim toga VDE propisuje da se ovo ispitivanje izvrši prije ispitivanja induciranim naponom.

1.2 Ispitni napon za namote kojima nultačka nije pogonski uzemljena uzima se prema stupcu 8 tablice 45.

1.3 Ispitni napon za namote kojima je nultačka pogonski uzemljena uzima se sa 10% vrijednosti prema stupcu 9 tablice 45, a služi samo za provjeravanje dovoljne izolacije nultačke. Ovo se ispitivanje vrši samo ako nije predviđeno ispitivanje prema B 2.2.

2. Ispitivanje zavoja (ispitivanje induciranim naponom)

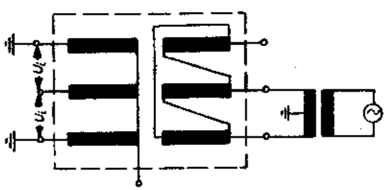
2.1 Kao 1.1 (samo naponi prema stupcu 9 tablice 45), ali ispitivanje prema VDE traje dulje:

$$a)\ t = 5 \cdot \frac{2 \times \text{nazivna frekvencija}}{\text{ispitna frekvencija}} \text{ minuta, ali barem 2 min.}$$

Ako takvo ispitivanje služi kao nadomjestak za nesprovedivo ispitivanje namota, trajanje ispitivanja iznosi:

$$b)\ t = 60 \cdot \frac{2 \times \text{nazivna frekvencija}}{\text{ispitna frekvencija}} \text{ sekunda, ali barem 15 s}$$

2.2. Trofazni transformatori kojima je nultačka pogonski uzemljena ispituju se ovako: Najprije se provedu 3 ispitivanja prema slici, priključujući napon uvijek na druge 2 stezaljke. Pritom treba transformator, sva tri puta kroz vrijeme prema 2.1b), uzbuditi tako da se na namotu gornjeg napona pojavi ispitni napon U_i prema stupcu 8 tablice 45. Na nultoj (zvjezdišnoj) stezaljci pojavljuje se tada $^1/_3$ ispitnog napona U_i. Uvjet je za to ispitivanje



da nultačka gornjeg napona bude izolirana za $^1/_3$ ispitnog napona. Nakon tih triju ispitivanja treba uzemljiti zvjezdišne stezaljke te transformator za vrijeme prema 2.1a) trofazno tako uzbuditi da se između polova namota gornjeg napona pojavi ispitni napon prema stupcu 8 tablice 45.

2.3. Za jednofazne transformatore za trofazne grupe vidi posebne odredbe u VDE 0532/1.59, § 45e2.

Ispitivanje izolacije transformatora prema VDE (nastavak)

3. Ispitivanje udarnim naponom

Vrši se samo ako je dogovoreno između proizvođača i kupca, i to prije ispitivanja zavoja. Vrši se negativnim udarnim naponima 1/50 prema ovom redoslijedu: 2 naponska udara čija tjemena vrijednost iznosi 75% od vrijednosti podnosivog udarnog napona navedene u stupcu 4 tablice 45; 2 naponska udara čija je tjemena vrijednost jednaka vrijednosti iz stupca 4 tablice 45; pritom treba zaštitna iskrišta na transformatoru tako razmaknuti da na njima ne dođe do preskoka (ispitivanje punim valom).

Ispitivanja odrezanim valom za provjeru gornjeg udarnog nivoa smiju se prema VDE 0111/2.61 § 18 izvesti samo na modelu.

167 Nazivne vrijednosti i standardne veličine transformatora

Nazivni ulazni (primarni) napon je napon koji se u normalnom radu priključuje na ulazni namot. Nazivni izlazni (sekundarni) napon je napon koji nastaje u praznom hodu na izlaznom namotu kad je na glavni odvojak ulaznog namota priključen nazivni ulazni napon. Ako su ulazni ili izlazni namot s odvojcima, nazivni napon odnosi se uvijek na glavne odvojke.

Nazivna snaga transformatora nije fizikalna veličina već dogovorno definirana veličina izražena u kVA ili MVA usvojena sa svrhom da se omogući tačno poređenje pojedinih transformatora. Ona se dobiva množenjem nazivnog izlaznog napona, nazivne izlazne struje i faktora sprege (za trofazne transformatore faktor sprege iznosi $\sqrt{3}=1{,}73$). Pri konstantnom ulaznom naponu izlazna snaga transformatora razlikuje se od nazivne snage za vrijednost koja odgovara padu napona zbog opterećenja.

Za trofazne transformatore nazivnu snagu treba odabrati iz slijedećeg niza snaga u kVA (prema JUS i IEC):

10 12,5 16 20 25 31,5 40 50 63 80
100 125 160 200 250 315 400 500 630 800
1000 1250 1600 itd. (standardni brojevi R 10).

Nazivna ulazna struja je struja na ulaznim stezaljkama transformatora, a njezin se iznos dobiva kad se nazivna izlazna struja podijeli s prenosnim omjerom (omjerom transformacije). Nazivna izlazna struja je struja na izlaznim stezaljkama transformatora, a njezin se iznos dobiva kad se nazivna snaga podijeli s nazivnim izlaznim naponom i sa faktorom sprege.

Na označnoj (natpisnoj) ploči transformatora uvijek se navodi nazivni ulazni napon, nazivni izlazni napon, nazivna frekvencija, nazivna snaga i nazivna izlazna struja.

Standardni odvojci. Za transformatore nazivne snage do 500 kVA uključivo JUS i IEC propisuju da odvojci za promjenu prenosnog omjera u stanju bez napona daju stupnjeve od po 2,5% nazivnog napona. Ukupni opseg ovih odvojaka ne smije prijeći 10% nazivnog napona. Ako se podaci za odvojke navode u postocima, onda se navedeni podaci odnose na nazivni napon transformatora.

Način hlađenja transformatora **168**

N a r a v n o (p r i r o d n o) hlađenje (oznaka prema JUS: N): Transformator se hladi naravno zrakom.

P r i s i l n a v e n t i l a c i j a (P): Rashladni zrak se potiskuje ventilatorima koji pripadaju hladioniku transformatora.

P r i s i l n a c i r k u l a c i j a u l j a k r o z h l a d i o n i k gdje se ulje potiskuje pumpom, a može biti hlađeno:

— naravno zrakom (NU),
— prisilno ventilacijom (PU),
— vodom (VU).

Tolerancije za garantirane vrijednosti transformatora **169**

1. Ukupni gubici: + 10%.
2. Gubici praznog hoda*: JUS +15%, IEC +$^1/_7$ tj. +14,3%, VDE +10%.
3. Gubici kratkog spoja (pri 75° C)*: JUS + 15%, IEC + $^1/_7$ tj. 14,3%, VDE + 15%.
4. Prenosni omjer: Manja od ove dvije vrijednosti: ±0,5% od garantiranog prenosnog omjera ili ±1/10 izmjerenog napona kratkog spoja (izraženog u postocima).
5. Napon kratkog spoja pri 75° C: ±10%.
6. Struja praznog hoda: +30%.

Revizija transformatora u pogonu **170**

Rokovi za reviziju i kontrolu transformatora sadržani su u »Tehničkim propisima za pogon, održavanje i reviziju elektroenergetskih postrojenja« (vidi 312, strana 524).

Ako se ovi propisi usporede s podacima koje za održavanje transformatora daju neke tvornice, oni su suviše strogi.

Prema našim tehničkim propisima reviziju transformatora uz izvlačenje jezgre treba obaviti

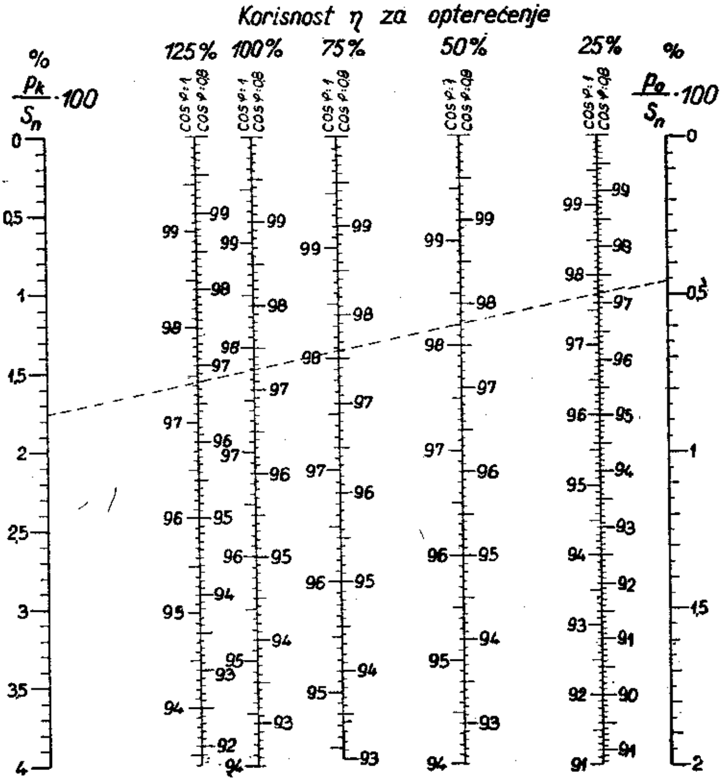
— za transformatore do 1 MVA svake 3 godine,
— za veće transformatore svake 4 godine.

Poznata belgijska tvornica ACEC preporučuje izvlačenje iz kotla (uz kompletnu reviziju) transformatora do 1 MVA svakih 6 godina ako transformator radi u teškim pogonskim uvjetima; inače se to vrijeme može produžiti na 7 do 10 godina. Veće transformatore preporučuje podići iz kotla nakon 10 godina, ali i to samo ako je transformator jako opterećen (npr. ⅔ vremena punim opterećenjem). Transformator treba podići svakako iz kotla ako se pokaže bilo koji znak preranog starenja, kao mulj, tragovi rđe ili izolacije u ulju, zapaljivi plin u Buchholzovu releju, pretjerana buka od magnetskog kruga, abnormalno mali otpor izolacije, promjena impedancije koja pokazuje da je učvršćenje namota popustilo.

* Ukupni gubici ipak ne smiju prijeći +10% garantirane vrijednosti, odnosno zbroja garantiranih vrijednosti za prazni hod i kratki spoj.

171 Korisnost transformatora

Ne navodi se na označnoj ploči pa ni u ponudama. Obično se navode gubici transformatora iz kojih se mogu izračunati gubici po formulama navedenim u 35, tačka 2.10 (str. 84). Još jednostavniie može se korisnost za pojedina opterećenja odrediti iz gubitaka pomoću niže navedenog nomograma.*



p_k — gubici kratkog spoja (gubici u bakru) u kW, p_o — gubici praznog hoda (gubici u željezu) u kW, S_n — nazivna snaga transformatora u kVA.

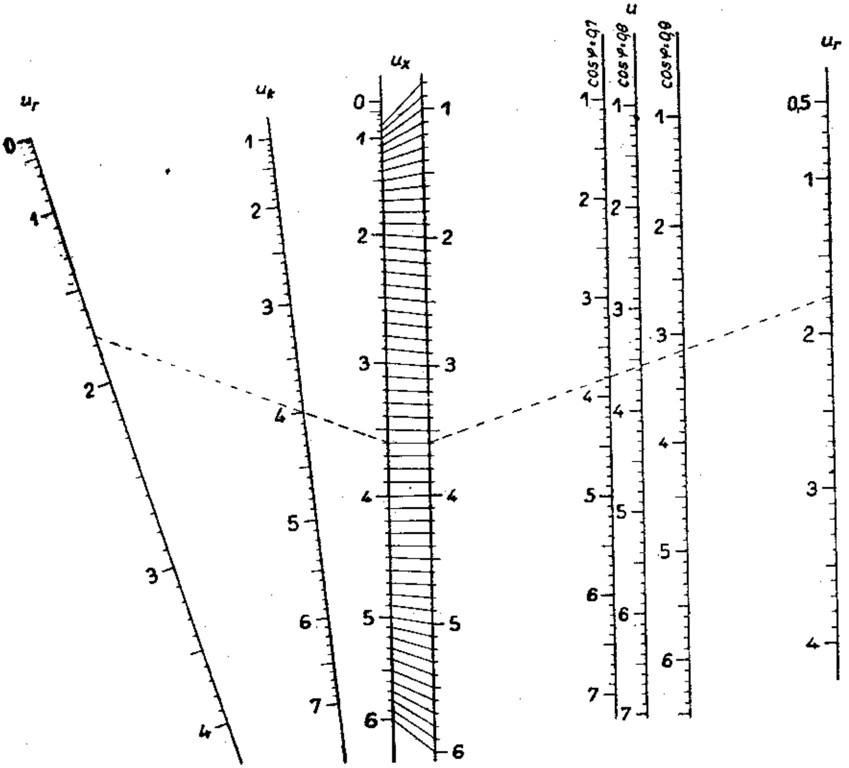
U nomogramu je ucrtan primjer za transformator S_n = 200 kVA koji ima ove gubitke: p_k = 3,51 kW, p_o = 0,91 kW. Na primjer, za opterećenje 75% uz cos φ = 0,8 dobijemo iz nomograma: η = 97,6%.

* Iz kataloga »Energetski transformatori« poduzeća »Rade Končar«.

Pad napona u transformatoru

172

Pad napona u transformatoru može se izračunati po formulama navedenim u *35*, tačka 2.5 do 2.7 (str. 83). Još jednostavnije može se odrediti iz ovog nomograma* (za potpuno opterećenje S_n u kVA):



Za djelomično opterećenje S pad napona se smanji u omjeru S/S_n (gdje je S prividno opterećenje, a S_n nazivna snaga).

U nomogramu je ucrtan primjer za transformator $S_n = 200$ kVA koji ima $u_k = 4\%$ i $p_k = 3{,}51$ kW. Odavle $u_r = (3{,}51/200)\ 100 = 1{,}76\%$. Od vrijednosti 1,76 na pravcu u_r lijevo potegne se pravac preko vrijednosti 4 za u_k pa se dobije $u_x = 3{,}6\%$. Odavle se potegne pravac do vrijednosti 1,76 na pravcu za u_r desno pa se dobiju vrijednosti za pad napona u uz $\cos\varphi = 0{,}7$ ($u = 3{,}8\%$), $\cos\varphi = 0{,}8$ ($u = 3{,}56\%$) i $\cos\varphi = 0{,}9$ ($u = 3{,}15\%$).

* Iz kataloga »Energetski transformatori« poduzeća »Rade Končar«.

173

Smetnje i kvarovi na transformatorima

Opažanje odnosno ispitivanje	Uzrok smetnje odnosno kvara	I s p o m o ć
I. Preveliko ugrijavanje		
1. Mjeri opterećenje ampermetrom (ne vatmetrom) kroz 10 do 24 sata. Mjeri temperaturu ulja i temperaturu prostorije u udaljenosti 1 m od transformatora i 1 m nad podom.	a) Preopterećenje. b) Previsoka temperatura (slaba ventilacija) prostorije. c) Kratko spojeni zavoji u namotu ili kratko spojeni limovi u jezgri. (Ustanovit ćeš tako da transformator priključiš na napon na strani donjeg napona uz otvorenu stranu gornjeg napona te izmjeriš struje. Struje su prevelike za prazni hod.)	a) Smanji opterećenje (eventualno nabavi kondenzator za popravak faktora snage). Ako je to nemoguće, nabavi jači transformator. Ako su transformatori paralelno spojeni, ispitaj ne nastaje li preopterećenje zbog struja izjednačenja (nejednak napon kratkog spoja). Ako da, izmijeni transformator. b) Poboljšaj ventilaciju prostorije, ili transformator premjesti ili za nj izgradi drugu, pravilno ventiliranu prostoriju. c) Odstrani kratki spoj ako možeš, ili daj transformator na popravak.
2. Ulje se silno ugrije za sasvim kratko vrijeme.	Kratko spojeni zavoji u namotu ili kratko spojeni limovi u jezgri.	Kao kod 1 c.
II. Elektr. smetnje		
1. Osigurači pregaraju, odn. sklopke isklapaju. (Utvrđeno je da je uzrok u transformatoru, a ne vanjski kratki spoj ili zemljospoj.)	a) Kao I. 2. b) Proboj provodnog izolatora, kratki spoj sa željezom u transformatoru.	a) Kao kod I.1c. b) Ispitaj transformator mjerilom izolacije. Ako ne ustanoviš ništa, priključi ga na napon na strani donjeg napona uz otvorenu stranu gornjeg napona te izmjeri struje da vidiš radi li se o kratkom spoju. Ne pokaže li ovo mjerenje ništa, ustanovit ćeš proboj provodnog izolatora odnosno spoj sa željezom u transformatoru tako da uzemljiš jednu po jednu stezaljku na strani gornjeg napona. Izmijeni provodni izolator odn. daj transformator na popravak.

2. Sekundarni naponi su u praznom hodu jednaki, a u opterećenju suviše različiti.	a) Loš kontakt na jednom provodnom izolatoru ili spojeva unutar transformatora (ili unutar namota). b) Prekid u jednoj primarnoj fazi (ako je transformator u spoju trokut-zvijezda ili trokut-trokut).	a) Mjerenjem otpora ustanovi neispravnu fazu i uredi kontakte. Po potrebi daj transformator na popravak. b) Ispitnom žaruljom ili galvanoskopom ustanovi neispravnu fazu. Pregledaj priključke na provodni izolator, odstrani prekid ili daj transformator na popravak.
3. Sekundarni naponi su vrlo različiti već u praznom hodu.	a) Prekid u jednoj primarnoj fazi (ako je transformator u spoju zvijezda-zvijezda). b) Prekid u jednoj sekundarnoj fazi transformator u spoju zvijezda-zvijezda ili trokut-zvijezda).	a) Kao 2 b. b) Kao 2 b.
III. Propuštanje ulja 1. Kotao transformatora propušta.	Loše zavareno mjesto.	Na mjestu propuštanja treba zavariti.
2. Neko brtvilo propušta.	a) Brtvilo slabo stisnuto. b) Loše ili dotrajalo brtvilo.	a) Pritegni matice odn. brtveni prsten. b) Izmijeni brtvilo.
IV. Jak šum Prisloni uho na kotao i ustanovi radi li se o unutarnjem ili vanjskom šumu te utvrdi mjesto šuma. Prije osluškivanja ispitaj ispravnost uzemljenja.	a) Neki vijak na poklopcu ili termometar je olabavio. b) Svornjak za zavješenje se je rastegnuo i udara o jedno rebro za hlađenje. c) Unutarnji šum: Jarmovi nisu dovoljno stisnuti uz jezgre, namot je djelomično olabavio.	a) Pritegni ga. b) Pritegni gornju maticu, a ako to ne pomogne, utisni drveni klin između svornjaka i rebra. c) Izvadi transformator iz kotla, pritegni jarmove, odnosno učvrsti namot (ili daj transformator na popravak).

TROFAZNI ULJNI TRANSFORMATORI SERIJSKE PROIZVODNJE

174 a

a) Transformatori proizvodnje »Rade Končar«

Tip*	Nazivna snaga	Spoj	Napon kratkog spoja	Gubici		Težina	
				kratkog spoja	praznog hoda[1])	ulja	ukupna
	kVA		%	W	W	kg	kg
Prenosni omjer 10 000 ± 2,5 i 5%/400/231 V[1])							
T 20—12	20	Yz 5	3,7	650	164	70	258
T 30—12	30		3,7	780	230	92	338
T 50—12	50		3,75	1150	325	151	511
T 80—12	80		3,75	1720	445	168	624
T 100—12	100		3,75	2020	535	177	728
T 125—12	125		3,75	2380	610	204	805
T 160—12	160		3,9	3000	720	243	960
T 200—12	200		4,0	3510	910	260	1100
T 250—12	250	Dy 5	4,1	3890	1070	284	1270
T 315—12	315		4,25	4650	1265	270	1520
T 400—12	400		4,25	5540	1610	325	1800
T 500—12	500		4,4	6800	1800	395	2130
T 630—12	630		4,6	8550	2230	650	2750
T 800—12	800		4,5	10550	2720	770	3400
T 1000—12	1000		4,5	12450	3210	900	4000
T 1250—12	1250		4,6	15150	3870	1050	4850
T 1600—12	1600		4,7	17800	4650	1250	5900
Prenosni omjer 35 000 ± 4%/400/231 V[2])							
3TNp 15—35	100	Yz 5	5,5	2460	770	528	1310
3TNp 18—35	250		5,5	4900	1620	650	2300
3TNp 22—35	400		5,5	6640	2510	797	2700
3TNp 23—35	630	Yy 0	6	10750	3000	1000	3750
3TNp 26—35	1000		6	15000	4390	1530	5580
Prenosni omjer 35 000 ± 2,5 i 5%/10 500 ili 6300 ili 5250 V[3])							
T 1000—38	1000	Yd 5	6	11500	3740	1290	4850
T 1600—38	1600		6	18000	4600	1370	6010
T 2500—38	2500		6	23800	7000	1750	7980
T 4000—38	4000		6	34800	9600	2450	11100

Transformatori tipa T građeni su prema preporukama IEC za najvišu temperaturu okoline 40^0 C, a transformatori tipa 3TNp prema propisima VDE za najvišu temperaturu okoline 35^0 C. Transformatore tipa 3 TNp vidi i na str. 307.

* 12 u tipu T znači stupanj izolacije, 35 u tipu 3TNp znači gornji napon u kV.

[1]) Gornji napon može iznositi i 6000 ili 5000 V.

[2]) Transformatori 630 i 1000 kVA izrađuju se za 35 000 ili za 30 000 V (jedan ili drugi napon, neprespojiv).

[3]) Ovi transformatori se proizvode i za napon 35 000 ili 30 000 V ± 2,5 ± 5%/400 V u zamjenu za stariji tip 3TNp 26-35.

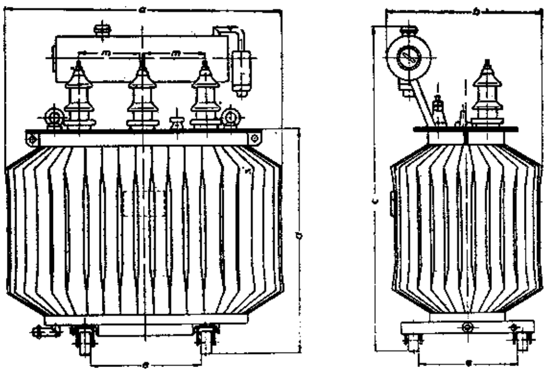
Prespojivost serijskih transformatora »Rade Končar«

Transformatori se za druge napone mogu prespojiti lemljenjem nakon vađenja transformatora iz kotla.

Transformatori do 10 kV: Transformatori u spoju Yz 5 mogu se prespojiti na strani gornjeg napona iz zvijezde u trokut u spoj Dz 6 čime im se gornji napon smanjuje 1,73 puta (od 10 000 V na 5770 V odn. od 5000 na 2885 V). Transformatori ranijih serija u spoju Yy 0 mogu se prespojiti u spoj Dy 11 čime se napon mijenja kao prespajanjem od Yz 5 na Dz 6. Transformatori u spoju Dy 5 mogu se prespojiti na strani gornjeg napona iz trokuta u zvijezdu u spoj Yy 6 čime im se gornji napon povećava 1,73 puta (od 6000 na 10 400 V). Transformatori prespojeni na strani gornjeg napona iz zvijezde u trokut ili obratno zadržavaju ranije karakteristike (snagu, donji napon, udešavanje gornjeg napona, napon kratkog spoja, gubitke, opteretivost i dr.).

Transformatori 35 kV: Svi transformatori gornjeg napona 35 kV mogu se izraditi tako da se lemljenjem mogu prespojiti na 30 kV, ali se snaga smanjuje na 85,5%, a opseg udešavanja se povećava za oko 16%. Spoj ostaje nepromijenjen. Svi transformatori 35 kV mogu se lemljenjem prespojiti na 20,2 kV; pritom se mijenja spoj od Yz 5 na Dz 6, ili od Yy 0 na Db 11, ili od Yd 5 na Dd 6.

Mjere serijskih transformatora »Rade Končar«



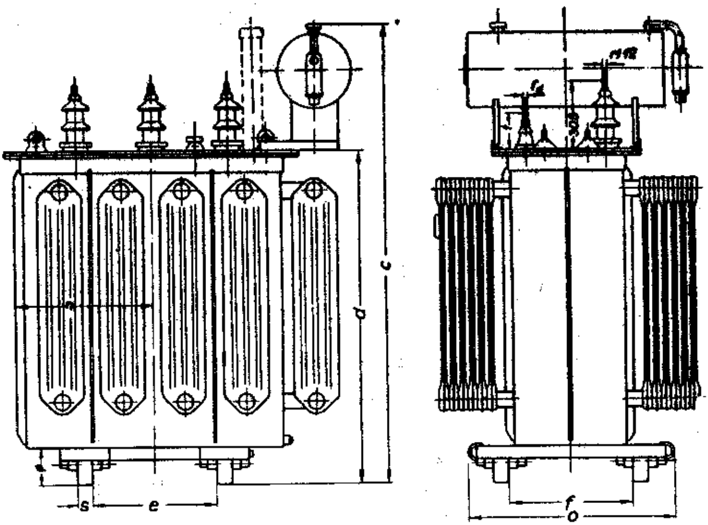
Ova skica vrijedi samo za mjere, a ne i za izvedbu transformatora. Mjere u tablici jesu u milimetrima.

Tip	kVA	*a*	*b*	*c*	*d*	*e**	*f**	*l**	*m**	Φ*	*s**	r_d*
T 20-12[1])	20	830	530	805	695	280	250	60	190			M 12
T 30-12[1])	30	905	600	865	745	340	270	60	200			M 12
T 50-12	50	955	545	1270	850	425	425	100	260	80	35	M 12
T 80-12	80	1060	580	1320	905	425	425	100	260	80	35	M 12
T 100-12	100	1175	630	1390	975	500	500	100	270	100	40	M 12
T 125-12	125	1225	650	1395	980	500	500	100	280	100	40	M 12
T 160-12	160	1335	730	1475	1010	500	500	100	300	100	40	M 20
T 200-12	200	1390	750	1520	1055	500	500	100	280	100	40	M 20
T 250-12	250	1420	770	1620	1120	500	500	100	280	100	40	M 20

* *e, f* – međusobni razmak kotača za vožnju (mjereno od unutarnjeg ruba kotača), *l* – međusobni razmak provodnih izolatora niskog napona, *m* – međusobni razmak provodnih izolatora visokog napona, Φ – promjer kotača za vožnju, *s* – širina kotača za vožnju, r_d – narez priključnih svornjaka na strani donjeg napona (na strani gornjeg napona uvijek M 12).

[1]) Ovi transformatori nemaju konzervatora za ulje, a provodni izolatori niskog napona smješteni su bočno.

Mjere serijskih transformatora »Rade Končar« (nastavak)



I ova skica vrijedi samo za mjere, a ne i za izvedbu transformatora. Mjere u tablici jesu u milimetrima.

Tip	kVA	a	b	c	d	e*	f*	l*	m*	Φ*	s*	n	r_d*
T 315-12	315	1320	970	1680	1215	595	595	130	280	550	55	570	M 20
T 400-12	400	1365	990	1830	1275	595	595	130	300	575	55	595	M 20
T 500-12	500	1405	1080	1975	1370	595	595	120	310	605	55	615	60[1])
T 630-12	630	1495	1365	2040	1430	595	595	180	340	625	55	635	60[1])
T 800-12	800	1610	1510	2150	1545	664	664	180	320	680	96	695	60[1])
T 1000-12	1000	1640	1520	2195	1605	664	664	220	350	700	96	710	100[1])
T 1250-12	1250	1840	1575	2335	1685	664	664	230	350	750	96	760	100[1])
T 1600-12	1600	1915	1600	2455	1800	664	664	220	360	790	96	800	120[1])
3TNp 18-35	250	1750	1030	2240	1460	695	695	100	380	150	55	680	M 20
3TNp 22-35	400	1915	1160	2335	1540	695	695	100	380	150	55	740	M 20
3TNp 23-35[3])	630	2415	1325	2335	1630	724	724	180	380	200	96	825	60[1])
3TNp 26-35[2])	1000	2585	1505	2905	2030	974	974	160	400	200	96	880	100[1])
3TNp 30-35	1600	2945	1935	3095	2170	980	980	320	400	200	65[3])	875	M 12
3TNp 34-35	2500	3125	1975	3325	2365	1415	980	320	400	200	65[3])	1000	M 12
3TNp 40-35	4000	3440	2170	3790	2675	1415	1180	380	450	200	65[3])		M 20

Tipove 3TNp 23-35 do 3TNp 40-35 vidi i na strani 307.

* e, f - međusobni razmak kotača za vožnju (mjereno od unutarnjeg ruba kotača), l - međusobni razmak provodnih izolatora niskog napona (od osi do osi), m - međusobni razmak provodnih izolatora visokog napona (od osi do osi), Φ - promjer kotača za vožnju, s - širina kotača za vožnju, r_d - narez priključnih svornjaka na strani donjeg napona (na strani gornjeg napona uvijek M 12).

[1]) Plosnati priključak: broj u tablici naznačuje širinu.

[2]) Za donji napon 400/231 V. Ako je donji napon 10,5 ili 6,3 kV, tada je l = 200 (za 3TNp 23-35) odn. 320 mm (za 3TNp 26-35), a r_d je M 12.

[3]) Sa vijencem debljine 15 mm.

174 b

b) **Transformatori »Elektrosrbija« (Beograd - Mladenovac)**

Transformatori serije T

Tip	Nazivna snaga	Spoj	Napon kratkog spoja	Gubici kratkog spoja	Gubici praznog hoda	Težina sa uljem	Mjere* širina *a*	Mjere* duljina *b*	Mjere* visina *c*
	kVA		%	W	W	kg	mm	mm	mm
Prenosni omjer 10 000 ± 4%/400/231 V									
T—30	30	Yz 5	3,9	890	175	372	750	560	1060
T—50	50	Yz 5	3,9	1370	260	470	860	575	1120
T—100	100	Yz 5	4,1	2240	430	750	1075	675	1260
T—160	160	Yz 5	4,1	3120	610	950	1120	690	1310
T—250	250	Yz 5	4,2	4820	840	1275	1340	790	1560
T—315	315	Yz 5	5,0	5700	985	1500	1410	905	1570
T—400	400	Yz 5	5,4	6500	1270	1780	1540	920	1575
T—630	630	Yz 5	6,0	10000	1720	2460	1600	1140	1690
T—1000	1000	Yy 0	6,4	12700	2350	3500	2100	1295	2100
Prenosni omjer 35 000 ± 5%/10 500 V									
T—1002	1000	Yd 5	6,0	12700	2580	3600	2110	1300	2240
T—1602	1600	Yd 5	6,0	18000	2900	4500	2500	1390	2300
T—2502	2500	Yd 5	6,0	23500	6000	7800	2500	1700	2960
T—3152	3150	Yd 5	6,0	29000	7100	9000	2660	1750	3240
T—4002	4000	Yd 5	6,0	34000	8300	10800	2740	1890	3370
T—8002	8000	Yd 5	6,0	54000	9500	16500	3760	2110	3030

Transformatori serije T1 (sa smanjenim gubicima)

Tip**	Gubici Cu W	Gubici Fe W	Tip	Gubici Cu W	Gubici Fe W	Tip	Gubici Cu W	Gubici Fe W
T1—25	760	120	T1—200	3200	600	T1—630	8300	1500
T1—50	1200	200	T1—250	3850	720	T1—800	10000	1850
T1—80	1750	270	T1—315	4500	900	T1—1000	12400	2000
T1—100	2000	330	T1—400	5500	1050	T1—1250	14000	2400
T1—125	2400	400	T1—500	6700	1200	T1—1600	17000	2800
T1—160	3000	480						

Transformatori su građeni prema standardu JUS odn. preporukama IEC.

U pogledu prespojivosti vrijedi sve ono što je rečeno za transformatore »Rade Končar« na strani 303.

* Vidi mjerne skice na stranama 303 i 304.
** Broj u tipu označuje nazivnu snagu.

174 c c) Transformatori »Energoinvest« — »Jambor« (Sarajevo — Črnuče)

Tip	Nazivna snaga	Spoj	Napon kratkog spoja	Gubici kratkog spoja	Gubici praznog hoda	Težina sa uljem	Mjere* širina *a*	Mjere* duljina *b*	Mjere* visina *c*
	kVA		%	W	W	kg	mm	mm	mm
Prenosni omjer 10 000 ± 4%/400/231 V									
NT 5/10	5	Yz 5	4	180	75	150	660	480	860
NT 10/10	10		4	340	135	190	742	546	980
NT 20/10	20		4	660	190	210	742	546	980
NT 30/10	30		4	900	256	360	790	580	1140
NT 50/10	50		4	1250	300	470	880	600	1300
NT 100/10	100		4	2380	540	750	1050	710	1450
NT 160/10	160		4,4	3300	775	1000	1200	800	1500
NT 250/10	250		4,4	4500	1290	1370	1470	810	1610
NT 400/10	400		4,4	6700	1620	2100	1593	931	1875
Prenosni omjer 10 000 ± 5%/400/231 V									
NT 630/10	630	Yy 0	5	10300	2195	2620	1760	1030	2010
NT 1000/10	1000			14100	3340	4050	2200	1300	2150
NT 1250/10	1250			16300	4150	5100	2150	1400	2400
NT 1600/10	1600			19600	4950	6200	2420	1550	2500
Prenosni omjer 35 000 ± 5%/400/231 V									
NT 100/35	100	Yz 5	6	2840	590	1080	1190	730	1700
NT 160/35	160			3850	850	1450	1350	820	1750
NT 250/35	250			5700	1390	1550	1550	920	1780
NT 400/35	400			7750	1700	2480	1800	1050	1980
NT 630/35	630	Yy 0	6	10500	2400	3300	1840	1150	2200
NT 1000/35	1000			14000	3640	5000	2400	1410	2500
Prenosni omjer 35 000 ± 5%/10500 ili 6300 ili 5250 ili 3150 V									
NT 1250/35	1250	Yd 5	6	15800	4360	7000	2500	1620	2790
NT 1600/35	1600			21000	4800				
NT 2500/35	2500			28140	6870	8900	3120	1585	3425
NT 4000/35	4000			38000	9700				

Transformatori su građeni prema propisima VDE.

U pogledu prespojivosti vrijedi sve ono što je rečeno za transformatore »Rade Končar«. Osim toga namoti 10 000 odn. 10 500 V mogu se prespojiti na 5000 odn. 5250 V. Transformatori od 630 kVA i veći mogu se prespojiti od 35 000 V na 30 000 V (uz smanjenje snage na 85,7%).

---

* Za transformatore do NT 100/10 vidi mjernu skicu na strani 303, za veće transformatore mjernu skicu na strani 304.

d) Transformatori »Elektrostroj« i »Elektromehanika« te neki raniji transformatori »Rade Končar«

174 d

Tip	Nazivna snaga	Spoj	Napon kratkog spoja	Gubici kratkog spoja	Gubici praznog hoda	Težina sa uljem	Mjere* širina *a*	Mjere* duljina *b*	Mjere* visina *c*
	kVA		%	W	W	kg	mm	mm	mm
»Elektrostroj«, Novi Sad, prenosni omjer 10 000/400/231 V[1])									
UTT—100	30	Yz 5	4	870	200	396	800	444	1290
UTT—101	50		3,8	1350	300	490	854	514	1350
UTT—103	100		3,7	2300	510	760	930	542	1406
UTT—105	160		3,7	3300	730	964	1046	556	1628
UTT—107	250		3,7	4700	1040	1360	1096	576	1670
UTT—109	400		3,7	6700	1470	1892	1626	778	1690
»Elektromehanika«, Niš, prenosni omjer 10 000/400/231 V[2])									
3TU—10-10	10	Yz 5	4	320	110	170	630	730	1000
3TU—10-31,5	31,5	Yz 5	4	880	220	310	740	860	1140
3TU—10-50	50	Yz 5	4	1300	290	410	840	910	1190
3TU—10-100	100	Yz 5	4	2100	490	650	1000	930	1290
3TU—10-160	160	Yz 5	4	3000	660	930	1100	960	1380
3TU—10-250	250	Yz 5	5	4500	1070	1300	1364	1140	1510
3TU—10-400	400	Yz 5	5	7200	1570	1800	1509	1190	1619
3TU—10-500	500	Yy 0	5	8200	1600	2150	1600	1240	1630
3TU—10-630	630	Yy 0	5	10000	2070	2300	1621	1270	1770
3TU—10-1000	1000	Yy 0	5	14000	3260	3450	1764	1490	2089
»Rade Končar«, Zagreb, prenosni omjer 35 000/10 500 V[3])									
3TNp 23—35	630	Yd 5	6	9900	3100	3750	2415	1325	2335
3TNp 26—35	1000			15000	4390	5680	2585	1505	2905
3TNp 30—35	1600			20000	6000	7630	2945	1935	3095
3TNp 34—35	2500			28000	8200	10070	3125	1975	3325
3TNp 40—35	4000			38000	12100	16000	3440	3170	3790

* Za transformatore »Elektrostroja« do 250 kVA vidi mjernu skicu na strani 303, za veće transformatore mjernu skicu na strani 304. Za sve transformatore »Elektromehanike« vidi mjernu skicu na strani 303, za sve transformatore »Rade Končar« mjernu skicu na strani 304.

1) »Elektrostroj« proizvodi i druge transformatore do 1000 kVA. Podešavanje napona ± 4%. Transformatori su građeni prema propisima JUS odn. preporukama IEC (temperatura okoline 40^0 C).

2) »Elektromehanika« proizvodi i transformatore 20, 80, 125, 200, 315 i 800 kVA. Podešavanje napona ± 5%, osim za snage 250, 400, 630 i 1000 kVA kojima se napon podešava za ± 4%. Transformatori su građeni prema standardu JUS odn. preporukama IEC (temperatura okoline 40^0 C).

3) Ovi se transformatori više ne proizvode, ali ih ima mnogo po našim pogonima. Novu seriju vidi na strani 302. Gornji namot može se prespojiti na 30 kV, ali se snaga smanjuje na 85,5%, a podešavanje napona se povećava za 16%. Donji napon može biti i 6300 V, 5250 V ili 3150 V. Podešavanje napona ± 5%. Transformatori su građeni prema preporukama VDE (temperatura okoline 35^0 C).

175

Podaci o nekim većim transformatorima
proizvodnje „Rade Končar"

Nazivna snaga MVA*	Godina konstrukcije	Način hlađenja [1])	Vrst lima [2])	Prenosni omjer kV	Spoj	u_k %	Gubici Cu kW	Gubici Fe kW	Težina ulja kg	Težina ukup. kg
Mrežni transformatori										
8	1958	N	T	35/10,5[3])	Yd5	7	55,5	16,5	11	32
10	1954	N	T	110/36,75/6,3[3])	Y, y0, d5	11	65	23	21	56,5
12,5	1955	N	T	110/6,3[3])	Yd5	11	77	32	18	55,6
16	1956	N	T	110/36,75/6,3[3])	Y, y0, d5	11	99	38	18	58
20	1962	N	T	110/36,75/6,3[3])	„	11	113	41	19,5	66,5
31,5	1961	P	H	110/36,75/10,5[3])	„	11	145	45	21,2	78
60	1959	P	T	110/36,75/10,5[5])	„	11	231	137	31	117
60[4])	1963	P	H	110/36,75/10,5[5])	„	11	235	84,5		
A150	1962	PU	H	220/115/10,5[5])	„	10,9	415	82	51,3	189[6])
J 33,3	1959	PU	H	$231:\sqrt{3}/115:\sqrt{3}/10,5$[7])	Ii	12	141	51	25	75
J 50	1960	PU	H	$220:\sqrt{3}/115:\sqrt{3}/10,5$[8])	Ii	11,7	190	57	20	90
Generatorski transformatori										
5	1953	N	T	31,5 ± 5%/6,3	Yd5	7,0	40	13	3,5	18
6,3	1957	N	T	35 ± 2,5 ± 5%/10,5	„	7,0	49,5	14,5	3,5	18,9
8	1963	N	H	35 ± 5%/6,3	„	6,1	49	10,3	5	20,7
12	1962	N	T	35 ± 5%/5	„	9,1	79	22	8,5	31,5
16	1960	N	T	35 ± 5%/6,3	„	8,2	97	28	7,7	37,5
40	1961	P	H	36,75 ± 5%/6,3	„	9,6	176	42	15	61
16	1954	N	T	115 ± 5%/10,5	Yd5	10,5	89	42	19	56,8
20	1955	N	T	115 ± 5%/10,5	„	11	112	50	21	68
25	1953	N	T	110 ± 5%/21	„	10,5	113	49	21	72
40	1962	P	H	115 ± 5%/10,5	„	11,5	183	50,5	17	66,5
12,5	1959	N	T	121/6,3	Yd5	10,9	84	30	10	41
25	1957	N	T	121,5/10,5	„	11	135	38	21	67,8
26	1961	N	T	115,5/10,5	„	11,2	140	49	17	61
31,5	1954	VU	T	110/15,75	„	11	130	78		
40	1960	VU	T	121/10,5	„	11	207	65	17	70,7
80	1963	VU	H	121/10,5	„	11	256	90		
J 40	1959	VU	H	$121:\sqrt{3}/16$	Ii	10,5	165	34	8,6	48,8
J 40	1959	VU	H	$242:\sqrt{3}/16$	Ii	12	125	52	14,3	72

* Transformatori u spoju Y, y0, d5 imaju tercijarni namot kojemu snaga iznosi 30% snage glavnih namota. Ovaj namot služi za izjednačenje i eventualno za priključak uređaja za popravljanje faktora snage. — Oznaka A znači autotransformator. — Oznaka J znači jednofazni transformator.

1) Oznake vidi u 168, strana 296.

2) T - toplo valjani transformatorski lim sa gubicima 0,93 W/kg kod indukcije 1 tesla. H - hladno valjani transformatorski lim (lim s orijentiranim kristalima).

3) Regulacija na gornjem naponu ± 10 × 1,5%.

4) Snaga triju namota iznosi 60/60/40 MVA

5) Regulacija na gornjem naponu ± 15% (u ± 12 stepena).

6) Hladionik je odvojen i nije uračunat.

7) Regulacija na 115 kV ± 12 × 1,35%.

8) Regulacija na 115 kV ± 14,85% (u ± 12 stepena).

Živini usmjerivači

a) Odnosi struje i napona živinih usmjerivača

(prema BBC - Handbuch für Schaltanlagen)

Broj faza	Priključni transformator				Pad napona na luku U_l	Faktor snage cos φ	Promjena napona ΔU_i %
	spoj po VDE	sek. struja (efekt.)	sek. napon (efekt.)	prividna snaga			
3	bilo koji	$0{,}57\, I_{ist}$	$\frac{U_{ist} + U_l}{1{,}17}$	$1{,}35\, P_{ist}$	16 do 20V kod 5 do 200 A	0,79	
6	dvostruka zvijezda F_1	$\frac{0{,}4\, I_{ist}}{n}$	$\frac{U_{ist} + U_l}{1{,}35}$	$1{,}55\, P_{ist}$	20 do 24 V kod 250 do 1000 A	0,90	10
6	cik-cak F_3 ili G_3	$\frac{0{,}4\, I_{ist}}{n}$	$\frac{U_{ist} + U_l}{1{,}35}$	$1{,}42\, P_{ist}$	20—24 V kod 500 do 1000 A	0,92	5
6	dvostruka zvijezda s prigušnicom F_2 ili G_2	$\frac{0{,}282\, I_{ist}}{n}$	$\frac{U_{ist} + U_l}{1{,}17}$	$1{,}26\, P_{ist}$	19 do 26 V kod 500 do 8000 A	0,92	5
12 (4×3)	sa tri prigušnice	$0{,}141\, I_{ist}$	$\frac{U_{ist} + U_l}{1{,}17}$	$1{,}33\, P_{ist}$	19 do 26 V kod 500 do 8000 A	0,95	3,5

Veličine istosmjerne struje obilježene su indeksom $_{ist}$; n-broj šesterofaznih sistema.

b) Korisnost (stupanj) djelovanja) živinih usmjerivača

Ukupna korisnost $\eta = \frac{U_{ist}}{U_{ist} + U_l} \eta_t$, gdje je η_t korisnost priključnog transformatora.

c) Preopteretivost živinih usmjerivača

Publikacija IEC broj 84 (»Preporuke za živine usmjerivače«) razlikuje. 11 klasa opterećenja: Klasa Ia i Ib, kontiunirani procesi, npr. elektrokemijski pogoni, 100% trajno, 150% za vrijeme 1 min. Klasa II, lagani industrijski pogoni, 150% za vrijeme 6 sati, 125% 15 min, 150% 2 min, 200% 10 s. Klasa IIIa, srednji industrijski pogoni, 100% 6 sati, 125% 2 sata, 200% 15 s. Klasa IIIb teški industrijski pogoni (24 sata) ili laki vučni (trakcioni) pogoni, 100% trajno 125% 2 sata, 200% 1 min. Klasa IVa, srednji vučni pogoni ili rudnički pogoni, 100% 3 sata, 150% 2 sata, 200% 1 min. Klasa IVb, srednji vučni pogoni (24 sata) ili rudnički pogoni, 100% trajno, 150% 2 sata, 200% 1 min. Klasa Va, teški vučni pogoni, 100% 3 sata, 150% 2 sata, 300% 1 min. Klasa Vb. teški vučni pogoni (24 sata), 100% trajno, 150% 2 sata, 300% 1 min. Klasa VIa, vrlo teški vučni pogoni, 100% 3 sata, 150% 2 sata, 300% 5 min. Klasa VIb, vrlo teški vučni pogoni (24 sata), 100% trajno, 150% 2 sata, 300% 5 min.

Propisi VDE 0555/9.62 (»Živini usmjerivači«) nemaju klase opterećenja i daju za preopterećenje sasvim druge vrijednosti.

d) Živini usmjerivači proizvodnje »Rade Končar«

Usmjerivač tip IUK Hg Tzr 6-800/600 je živin 6-anodni, zrakom hlađeni bespumpni usmjerivač u čeličnoj posudi, za 800 A i 600 V. Posuda je ugrađena zajedno sa rashladnim plaštem na kolica s prigrađenim uređajem za paljenje, uzbudu, blokiranje ili upravljanje rešetkama i signalizaciju. Namijenjen je za električnu vuču i elektromotorne pogone.

Dozvoljeno opterećenje prema IEC: 100% — trajno, 125% — 2 sata, 200% — 1 min (klasa IIIb prema IEC).

Gubici: Gubici u luku 12 000 W, gubici uzbude 260 W, gubici ventilacije 400 W, dodatni gubici 100 W. Korisnost pri 800 V i 600 A: 97,2%.

177

Selenski usmjerivači

a) Podaci za priključni transformator, faktor snage i korisnost

Spoj	Priključni transformator			Faktor snage $\cos\varphi$	Ukupna korisnost η
	sekund. struja	sekund. linijski napon	prividna snaga		
Jednofazni mosni spoj	$1{,}0\, I_{ist}$ $(1{,}11\, I_{ist})$	$\frac{1{,}2^*}{0{,}9} U_{ist}$	$1{,}11\, P_{ist}$ $(1{,}23\, P_{ist})$	0,89	0,75 do 0,80
Trofazni mosni spoj	$0{,}815\, I_{ist}$	$\frac{1{,}2^*}{1{,}35} U_{ist}$	$1{,}05\, P_{ist}$	0,93	0,75 do 0,80

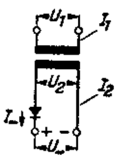
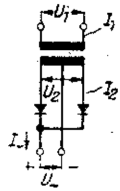
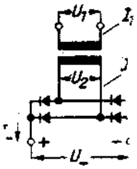
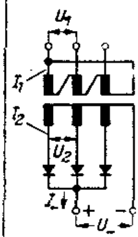
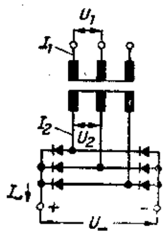
Indeks ist pokazuje da se radi o veličinama istosmjerne struje. Vrijednosti u zagradi vrijede za neizravnatu struju.

* 1,2 zbog pada napona u usmjerivačima.

b) Selenske usmjerivačke ploče proizvodnje »Iskra«

Tip ploče	Mjere mm	Tip ploče	Mjere mm	Tip ploče	Mjere mm	Tip ploče	Mjere mm
11	16×16	46	60×40	816	160×80	1620	160×200
22	23×23	48	80×40	1016	160×100	1630	160×300
33	32×32	88	80×80	1216	160×120	1640	160×400
44	40×40	812	120×80	1616	160×160	1650	160×500

c) Podaci za izbor usmjerivačkih ploča »Iskra«

Napon odn. struja/tip ploče	Jedinica	Jednofazni poluvalni spoj	Jednofazni punovalni spoj	Jednofazni mosni spoj	Trofazni zvjezdišni spoj	Trofazni mosni spoj
Oznaka spoja		A	C	B	E	G
U_2	V_{ef}	25	25	25	25	25
U_2'	V_{ef}	12,5	25	25	25	25
U_-	V	10	10	20	15	15
U'_-	V	12,5	do 12,5	do 25	~ 55	~ 15
v	%	121	48	48	18	4,2
I_-						
11	A	0,04	0,08		0,12	0,20
22	A	0,13	0,25		0,38	0,63
33	A	0,28	0,55		0,84	1,4
44	A	0,50	1,0		1,5	2,5
46	A	0,80	1,6		2,4	4,0
48	A	1,1	2,2		3,3	5,5
88	A	2,2	4,4		6,6	11,0
812	A	3,5	7,0		10,5	17,5
816	A	4,6	9,2		13,8	23
1016	A	6,0	12		18	30
1216	A	7,2	14		21	35
1616	A	9,6	19		28	47
1620	A	12	24		36	60
1630	A	18	36		54	90
1640	A	24	48		72	120
1650	A	30	60		90	150

178

Silicijski usmjerivači
proizvodnje »Iskra«

Nazivne struje »Iskrinih« silicijskih usmjerivača pri temperaturi okoline 50° C.

Tip	Si 0,4	Si 0,5	Si 1	Si 2,5	Si 5	Si 10	Si 25	Si 35	Si 65	Si 100	
I_n za spoj A*	0,4	0,5	1,2	2,5	6	10	25	40 (70)	65 (135)	120 (240	A

Vrijednosti u zagradi odnose se na pojačano hlađenje zrakom brzine 6 m/s. Nazivne struje drugih spojeva dobiju se tako da se gornje nazivne struje pomnože slijedećim faktorom:

Vrst spoja*	A	C	B	E	G	F	S
Faktor	1	2	2	3	3	4,3	6

Ako je temperatura okoline viša od 50° C, dozvoljena struja se smanjuje i dobije se tako da se nazivna struja pomnoži slijedećim faktorom:

Temperatura okoline	50	60	70	80	90	100	110	120	°C
Faktor	1	0,9	0,8	0,7	0,6	0,5	0,39	0,27	

Priključni i zaporni naponi:

Tip silicijske diode	Si 0,4	Si 0,5 do Si 2,5	Si 5 do Si 100
Priključni napon V_{ef}	1000	1550	3000
Nazivni zaporni napon V	550	850	1500
Dozvoljeni vršni naponi** V	500	770	1500

Pad napona u zapornom smjeru iznosi oko 0,9 V.

Serijski spoj silicijevih dioda: Iako su zaporne struje dioda vrlo male, one se međusobno dosta razlikuju za pojedine diode, a to bi u serijskom spoju prouzrokovalo nejednoliku podjelu napona. Stoga treba paralelno s diodama priključiti otpore.

179

Jednoarmaturni pretvarači — omjer istosmjernog i izmjeničnog napona

U_{ist}/U_{izmj} kod izmjenične struje = 0,707
„ „ trofazne „ = 0,612
„ „ 6-fazne „ = 0,354
„ „ 12-fazne „ = 0,183

Ovaj je omjer nepromjenljiv te ne ovisi ni o frekvenciji ni o uzbudi.

* Spojeve A, C, B, E i G vidi u tablici na prethodnoj strani. Spoj F je šestorofazni zvjezdasti spoj, spoj S je šestorofazni zvjezdasti spoj s prigušnicom za izjednačenje.

** Trajanje najviše 10 milisekunda.

Djelatna, jalova i prividna snaga

1. Jalova i prividna snaga u postocima djelatne snage za različite faktore snage

Faktor snage cos φ	Fazni kut φ	Djelatna snaga %	Jalova snaga %	Prividna snaga %	Gubici energije u odnosu prema gubicima pri cos φ = 1
1	0°	100	0	100	1
0,95	18°10′		33,0	105,3	1,11
0,9	25°50′		48,4	111,1	1,23
0,85	31°50°		61,9	117,6	1,38
0,8	36°50′		75,0	125	1,56
0,75	41°20′		88,1	133,3	1,78
0,7	45°30′		102,1	142,9	2,04
0,65	49°30′		116,9	153,8	2,37
0,6	53°10′		133,3	166,7	2,78
0,55	56°40′		151,8	181,8	3,31
0,5	60°		173,2	200	4
0,45	63°20′		198,4	222,2	4,94
0,4	66°30′		229,1	250	6,25
0,35	69°30′		267,6	285,7	8,16
0,3	72°30′		317,9	333,3	11,11

2. Djelatna i jalova snaga u postocima prividne snage za različite faktore snage

Faktor snage cos φ	Fazni kut φ	Djelatna snaga %	Jalova snaga %	Prividna snaga %	Gubici energije u odnosu prema gubicima pri cos φ = 1
1	0°	100	0	100	1
0,95	18°10′	95	31,2		1,05
0,9	25°50′	90	43,6		1,11
0,85	31°50′	85	52,7		1,18
0,8	36°50′	80	60		1,25
0,75	41°20′	75	66,1		1,33
0,7	45°30′	70	71,4		1,43
0,65	49°30′	65	76,0		1,54
0,6	53°10′	60	80,0		1,67
0,55	56°40′	55	83,5		1,82
0,5	60°	50	86,6		2,00
0,45	63°20′	45	89,3		2,22
0,4	66°30′	40	91,7		2,50
0,35	69°30′	35	93,7		2,86
0,3	72°30′	30	95,4		3,33

Odnose između djelatne, jalove i prividne snage vidi u 34/1.18 i 1.19.
O kompenzaciji jalove snage vidi u 181.

181

Kompenzacija jalove snage

P o j e d i n a č n a k o m p e n z a c i j a. Kompenzira se jalova snaga samo jednog motora tako da se paralelno s motorom spoji na mrežu kondenzatorska baterija koja se uklapa i isklapa istom sklopkom zajedno s motorom. Provodi se obično samo za veće motore. Pojedinačna kompenzacija, ako je prevelika, može dovesti do pojave rezonancije, a ova do znatnog povišenja napona koje je opasno za motor i kondenzatore. Da se to spriječi, neka nazivna snaga kondenzatorske baterije (kVar) ne prijeđe 90% prividne snage (kVA) koju motor uzima u praznom hodu. Obično se uzima takva kondenzatorska baterija da njezina nazivna snaga (kVar) iznosi oko 35% nazivne snage motora za trajno opterećenje (kW).

G r u p n a k o m p e n z a c i j a. Zajedničkom kondenzatorskom baterijom kompenzira se jalova snaga cijele jedne grupe trošila. Kad je opterećenje grupe maksimalno, neka cos φ bude barem 0,8, a kad je minimalno, neka ne dođe do jače natkompenzacije. Ako je opterećenje tako promjenljivo da se to ne može postići, treba kondenzatorskoj bateriji priklapati odn. otklapati pojedine kondenzatore (ručno ili automatski).

C e n t r a l n a k o m p e n z a c i j a. Kompenzacija za cijeli pogon provodi se na jednom mjestu (obično kod priključka odn. kod transformatorske stanice). U većim pogonima često je potrebno predvidjeti automatsku regulaciju kompenzacije.

S n a g a p o t r e b n a z a k o m p e n z a c i j u

Tablica daje podatke o potrebnoj jalovoj snazi (npr. kondenzatorske baterije) u kVar za 1 kW opterećenja. Da se dobije ukupno potrebna jalova snaga, treba vrijednosti u tablici pomnožiti s opterećenjem u kW.

cos φ bez kompenzacije	Kompenzacija na cos φ				cos φ bez kompenzacije	Kompenzacija na cos φ			
	0,8	0,85	0,9	1,0		0,8	0,85	0,9	1,0
0,20	4,15	4,28	4,42	4,90	0,62	0,52	0,65	0,78	1,27
0,25	3,11	3,25	3,39	3,87	0,64	0,45	0,58	0,72	1,20
0,30	2,43	2,56	2,70	3,18	0,66	0,39	0,52	0,66	1,14
0,35	1,93	2,06	2,19	2,68	0,68	0,33	0,46	0,59	1,08
0,40	1,54	1,67	1,81	2,29	0,70	0,27	0,40	0,54	1,02
0,42	1,41	1,54	1,68	2,26	0,72	0,21	0,34	0,48	0,96
0,44	1,29	1,42	1,56	2,04	0,74	0,16	0,29	0,43	0,91
0,46	1,18	1,31	1,45	1,93	0,76	0,11	0,24	0,37	0,86
0,48	1,08	1,21	1,34	1,83	0,78	0,05	0,18	0,32	0,80
0,50	0,98	1,11	1,25	1,73	0,80		0,13	0,27	0,75
0,52	0,89	1,03	1,16	1,64	0,82		0,08	0,21	0,70
0,54	0,81	0,94	1,08	1,56	0,85			0,13	0,62
0,56	0,73	0,86	1,00	1,48	0,90				0,48
0,58	0,66	0,78	0,92	1,41	0,95				0,33
0,60	0,58	0,71	0,85	1,33					

Podatke o kondenzatorima jugosl. proizvodnje daje tablica 182.

P r i m j e r : Neko poduzeće radi u 2 smjene, prvoj jačoj, drugoj slabijoj. U prvoj smjeni je srednje opterećenje 110 kW uz cos φ = 0,58, a u drugoj 26 kW uz cos φ = 0,50. Elektroprivredno poduzeće naplaćuje za jalovi potrošak ako je cos φ ispod 0,8. Razmatranje pokazuje da je najpodesnija centralna kompenzacija. Kompenziramo na cos φ = 0,85. Iz gornje tablice za 1. smjenu: $P_c = 0,78 \cdot 110 = 86$ kVar, za 2. smjenu $P_c = 1,11 \cdot 26 \doteq 29$ kVar. Prema tablici 182. odaberemo 3 kondenzatorske baterije po 30 kVar s time da dvije spojimo zajedno na jednu sklopku, a treću na posebnu sklopku. U 1. smjeni uklopljene su sve baterije, u 2. smjeni samo jedna, a u 3. smjeni nijedna (da se izbjegne natkompenzacija).

Kondenzatori za kompenzaciju jalove snage

proizvodnje »Elektrosrbija« Ripanj*

Svi su kondenzatori Elektrosrbije sastavljeni od elemenata 24,5 µF koji uz 380 V daju 1,1 kVar jalove kapacitivne snage. Ovi elementi imaju oblik valjka promjera 94 mm, visine 210 mm, težine 1800 g. U svaki element je ugrađen rastalni osigurač koji ga automatski isključuje ako bude probijen.

Snaga baterije kVar	Nazivni napon V	Broj elemenata	Težina baterije kg	Mjere baterije u mm		
				visina	duljina	širina
3,3		3	12		182	
6,6		6	18		272	
10		9	26		447	
13,2		12	32		544	
16,5		15	38		641	
20	380	18	44	300	738	362
23		21	50		835	
26,5		24	56		932	
33		27	62		1029	
33,5		30	68		1126	
50		45	90		750	352
100	3000	90	180	1420	1235	352
200		180	360		1235	704
400		360	720		1235	1570
100		90	180			352
200		180	360	1420		704
300		270	540			1056
400	6000	360	720			1408
500	i	450	900		1235	1300
1000	10 000	900	1800			2360
1500		1350	2700			3420
2000		1800	3600	1570		4500
2500		2250	4500			5510
3000		2700	5400			6570
150		135	270			352
300		270	540	1850		704
450		405	810			1056
600	35 000	540	1080		1760	1408
1200		1080	2160			2710
1800		1620	3240			3770
2400		2160	4320	1450		4820
3000		2700	5400			5870

Osim kondenzatorskih baterija navedenih u gornjoj tablici Elektrosrbija proizvodi i male jednofazne kondenzatore za popravak faktora snage fluorescentnih cijevi i živinih sijalica te za male jednofazne kondenzatorske motore. Napon 250 V (ili 375, 440, 500 V), kapacitet za 250 V: 4, 6, 8, 10, 12, 14, 16, 18 i 20 µF.

* Licenca »Savoisienne«, Francuska.

AKUMULATORI I GALVANSKI ČLANCI

183

Opći podaci o olovnim akumulatorima

Normalni napon oko 2 V po ćeliji.

Najviši napon punjenja oko 2,75 V po ćeliji.

Najviši napon pražnjenja U_{min} ovisi o trajanju pražnjenja t:

t	1	2	3	5	7,5	10	sati
U_{min}	1,72	1,76	1,77	1,79	1,80	1,82	volta

Gornji podaci vrijede za akumulatore stacionarnih akumulatorskih baterija, a razlikuju se za akumulatore pojedinih proizvođača do kojih ± 0,02 V od podataka u gornjem pregledu koji se mogu smatrati srednjim vrijednostima. Ako ne raspolažemo podac ma proizvođača, dobro je da najniži napon pražnjenja bude za 0,02 V viši od napona u tablici. Najniži napon pražnjenja akumulatora starter-baterija za 20-satno pražnjenje iznosi 1,75 V, ali kod startanja – ako struja startanja odgovara 20-minutnom pražnjenju – napon smije spasti i do 1,33 V.

Gustoća sumporne kiseline

a) Z a   s t a c i o n a r n e   a k u m u l a t o r e: Za nalijevanje 1,180 kg/dm³ (22⁰ Bé), punog akumulatora 1,20 ± 0,01 kg/dm³, praznog akumulatora oko 1,15 kg/dm³ (sve pri 15⁰ C)

b) Z a   s t a r t e r   a k u m u l a t o r e: Za nalijevanje 1,24 kg/dm³ (28⁰ Bé), punog akumulatora 1,270 *do* 1,285 kg/dm³, praznog akumulatora oko 1,12 kg/dm³ (sve pri 25⁰ C).

Broj negativnih ploča u ćeliji za 1 veći od broja pozitivnih.

Boja negativnih ploča siva, pozitivnih ploča *smeđa*.

Ampersatna korisnost (stupanj djelovanja):

$$\frac{\text{predani ampersati}}{\text{primljeni ampersati}} = 0{,}85 \text{ do } 0{,}95$$

Kilovatsatna (vatsatna) korisnost:

$$\frac{\text{predani kWh}}{\text{primljeni kWh}} = 0{,}65 \text{ (pražnjenje 3 do 10 sati), odr. } 0{,}70 \text{ (pražnjenje 1 sat).}$$

Kapacitet stacionarnih akumulatora je oko 7,5 do 14 Ah po dm² pozitivnih ploča (računajući površinu samo s jedne strane ploče).

Kapacitet akumulatora za vozila je oko 30 do 42 Ah po dm² pozitivnih ploča (računajući površinu samo s jedne strane ploče).

Opći podaci o olovnim akumulatorima (nastavak)

Težina: Stacionarne baterije kompletne od oko 100 Ah teške su oko 28 kg/100 Ah odn. oko 140 kg/kWh; težina kiseline oko 7,5 kg/100 Ah odn. oko 38 kg/kWh.

Stacionarne katerije kompletne od 1000 do 5000 Ah teške su oko 22 kg/100 Ah odn. oko 110 kg/kWh; težina kiseline oko 5 kg/100 Ah odn. oko 25 kg/kWh.

$$\textbf{Broj potrebnih ćelija} = \frac{\text{napon trošila} + \text{pad napona}}{1{,}83} \quad \text{(jer je najniži napon pražnjenja} \approx 1{,}83\ \text{V).}$$

Unutarnji otpor jedne ćelije iznosi oko 0,15—0,25 Ω/Ah. Npr. baterija od 6 V, 36 Ah ima unutarnji otpor po ćeliji 0,15/36 do 0,25/36 = 0,0042 do 0,0069 Ω, a budući da ima 3 ćelije u seriji, njezin je ukupni unutarnji otpor 0,013 do 0,021 Ω. Kad se baterija prazni, unutarnji otpor se povećava (vidi primjedbu 2 na strani 319).

Promjena kapaciteta olovnih akumulatora u ovisnosti o trajanju pražnjenja.

Kapacitet olovnih akumulatora navodi se obično za 10-satno pražnjenje Ako se akumulator prazni brže, kapacitet se smanjuje, a ako sporije, on se povećava približno prema ovoj tablici:

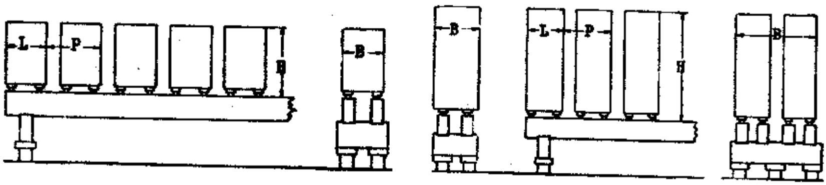
Trajanje pražnjenja	sati	1	2	3	5	7,5	10	20
Kapacitet	%	52	67	75	86	95	100	115

184

Specifični kapacitet olovnih akumulatora
tipa Tudor

Vrst akumulatora	Specifični kapacitet (za 10-satno pražnjenje)			
	po kg		po dm³	
	Ah	Wh	Ah	Wh
Stacionarni akumulatori				
(u staklenim posudama i podstavljenim drvenim sanducima)	2,6—5,3	5—10	7,5—14	14,5—27
Akumulatori za tešku trakciju (vuču)				
sa pločama stacionarnog tipa	5,2—6,5	10,5—12	14,5—17	28—31,5
sa pločama polustacionarnog tipa	10—11,5	18,5—22	29—34	56—64
Akumulatori za laku trakciju (vuču)				
ploče s rešetkama ispunjenim pastom	15—16,5	29—31,5	42—43,5	81—85
pozitivne ploče s paralelnim tubama („ironclad")	11—11,5	21—22,5	31,5—32,5	61—63,5

185 Članci za stacionarne akumulatorske baterije u staklenim posudama »Munja«



L1—L6 L8—L12 L16—L24

a) U jednostrukim staklenim posudama

Tip članka	L 1	L 2	L 3	L 4	L 5	L 6	L 8	L 10	L 12	L 14
	Članci sa pločama L 1						Članci sa pločama L 2			
Kapacitet u ampersatima										
kod 10-sat. pražnjenja Ah	36	72	108	144	180	216	288	360	432	504
kod 5-sat. pražnjenja Ah	31	62	93	124	155	186	248	310	372	434
kod 3-sat. pražnjenja Ah	27	54	81	108	135	162	216	270	324	378
kod 1-sat. pražnjenja Ah	19	38	57	76	95	114	152	190	228	266
Struja pražnjenja										
kod 10-sat. pražnjenja A	3,6	7,2	11	14,5	18	21,5	29	36	43	50
kod 5-sat. pražnjenja A	6,2	12,5	18,5	25	31	37	50	62	74	87
kod 3-sat. pražnjenja A	9	18	27	36	45	54	72	90	108	126
kod 1-sat. pražnjenja A	19	38	57	76	95	114	152	190	228	266
Struja punjenja do početka razvijanja plina A	9	18	27	36	45	54	72	90	108	126
završno punjenje A	3	6	9	12	15	18	24	30	36	42
Mjere posude										
duljina *L* mm	85	120	155	210	210	210	210	210	210	210
širina *B* mm	210	210	210	200	240	280	200	240	280	315
visina *H* (+ izolatori) mm	355	355	355	355	355	355	645	645	645	645
ugradbena duljina *P* mm	105	140	175	280	280	280	280	280	280	280
Količina kiseline kg	5	7	9	12	14	16,5	22	26	31	35
Težina članaka bez kiseline kg	9	13,5	18	23	28	34	43	53	61	70
Težina stalka za 1 članak kg	2	2	3	4	4	4	4	4	4	4
Unutarnji otpor $10^{-4}\,\Omega$	60	30	20	13	12	10	7	6	5	4,3
Najveći dozvoljeni osigurač A	20	35	60	80	100	125	160	200	225	260

Članci za stacionarne akumulatorske baterije (nastavak)

b) U dvostrukim staklenim posudama

Tip članka	L 16	L 18	L 20	L 22	L 24	L 26	L 28
	Članci sa pločama L 2						
Kapacitet							
kod 10-sat. pražnjenja Ah	576	648	720	792	864	936	1008
kod 5-sat. pražnjenja Ah	496	558	620	682	744	806	868
kod 3-sat. pražnjenja Ah	432	486	540	594	648	702	756
kod 1-sat. pražnjenja Ah	300	335	375	410	450	485	520
Struja pražnjenja							
kod 10-sat. pražnjenja A	58	65	72	79	84	94	101
kod 5-sat. pražnjenja A	99	112	124	136	149	161	174
kod 3-sat. pražnjenja A	144	162	180	198	216	234	252
kod 1-sat. pražnjenja A	300	335	375	410	450	485	520
Struja punjenja do početka razvijanja plina A	144	162	180	198	216	234	252
završno punjenje A	48	54	60	66	72	78	84
Mjere posude							
duljina *L* mm	210	210	210	210	210	210	210
širina *B* mm	420	460	500	540	580	615	650
visina *H* (+ izolatori) mm	645	645	645	645	645	645	645
ugradbena duljina *P* mm	280	280	280	280	280	280	280
Količina kiseline kg	44	48	52	57	62	66	70
Težina članka bez kisel. kg	86	95	104	113	122	131	140
Težina stalka za 1 član. kg	6	6	6	6	6	6	6
Unutarnji otpor $10^{-4}\,\Omega$	3,7	3,3	3,0	2,7	2,5	2,3	2,1
Najveći dozvoljeni osig. A	300	350	400	400	500	500	500

Primjedbe: 1. Broj u oznaci članka pokazuje koliko puta dotični članak ima veći kapacitet od osnovnog članka L 1. Osnovni članak L 1 ima jednu pozitivnu ploču L 1 10-satnog kapaciteta 36 Ah. Prema tome npr. članak L 20 ima kapacitet 20 × 36 = 720 Ah. Broj u oznaci članaka L 1 do L 6, koji su građeni sa pločama L 1, naznačuje broj pozitivnih ploča u članku. Broj pozitivnih ploča članaka L 8 do L 14, koji su građeni sa dvostruko većim pločama L 2, jednak je broju u oznaci članka podijeljenom sa 2. Članak L 16 građen je od po dva paralelno spojena članka L 8, a jednako su članci L 20 do L 28 građeni pomoću članaka L 10 do L 14.

2. Navedeni otpori su orijentacione vrijednosti za nove, svježe napunjene baterije. Otpori se smanjuju sa starenjem baterije, a sa pražnjenjem rastu (do na dvostruko na kraju pražnjenja).

3. Navedeni osigurač je najveći koji se smije postaviti s obzirom na zaštitu baterije. Instalacija međutim obično traži znatno manje osigurače.

4. Ukupna duljina niza članaka dobije se kao umnožak broja članaka i ugradbene duljine *P* iz tablice.

186 Normalne olovne akumulatorske baterije »Munja«

Upotreba	T i p	Napon V	Kapacitet* Ah	Struja punjenja A	Duljina mm	Širina mm	Visina mm	Težina bez kiseline kg
Radio	L × 2	2	28	2,8	125	85	205	3
	DL × 2	4	28	2,8	125	140	205	6
Telefon	6 OE 1	12	15	4	515	230	350	32
	6 OE 2	12	30	8	760	230	350	45
	3 OE 3	6	45	12	515	230	350	32
	3 OE 4	6	60	16	625	230	350	40
Vuča	4 Ky 225	2	140	28	205	70	350	10
	5 Ky 225	2	175	35	205	85	350	12
	6 Ky 225	2	210	42	205	100	350	14
	7 Ky 380	2	380	76	205	125	590	30

* Za akumulatore za radio i telefon 10-satni kapacitet, za akumulatore za vuču 5-satni kapacitet.

Starter-baterije za automobile i motor-kotače proizvode se za napon 6 i 12 V i 20-satni kapacitet od 8 do 180 Ah. Za starter baterije vidi JUS N.J3.721/II-1962.

187 Alkalijski nikal-kadmijevi akumulatori »Krušik«

T i p	Broj ćelija	Srednji napon V	5-satni kapacitet Ah	Duljina mm	Širina mm	Visina mm	Težina bez lužine kg	Težina sa lužinom kg
Krušik 10 Ah	1	1,2	10	82	34	124	0,62	0,79
ANiCd-22 Ah	2	2,4	22	107	84	136	1,95	2,58
NO 60 Ah	1	1,2	60	160	55	260	3,90	5,00
NO 80 Ah	1	1,2	80	174	60	330	4,80	6,85
Ni 80 Ah	1	1,2	80	184	138	175	4,80	6,85
NO 160 Ah	1	1,2	160	174	92	330	7,80	10,00
NO 240 Ah	1	1,2	240	174	133	330	11,00	15,00

Normalna struja 6-satnog punjenja u A dobije se tako da se 5-satni kapacitet u Ah podijeli sa 4. Npr. za akumulator NO 80 Ah struja punjenja iznosi 80 : 4 = 20 A.

Baterije od nikal-kadmijevih ćelija »Krušik« za napon od 24 V (18 ćelija)

Tip baterije	Tip ćelije	5-satni kapacitet Ah	Duljina mm	Širina mm	Visina mm	Težina s lužinom kg
NO 60	NO 60 Ah	60	460	195	310	140
NO 80	NO 80 Ah	80	465	195	360	150
Ni 80	Ni 80 Ah	80	540	206	208	150
NO 160	NO 160 Ah	160	617	206	367	210
NO 240	NO 240 Ah	240	800	206	367	300

Regulacija napona stacionarne akumulatorske baterije

188

1. Ćelijskom preklopkom regulira se smanjenje napona kad se baterija prazni. Baterija za 110 V mora imati 110 : 1,83 = 60 članaka (ćelija) (1,83 — najniži napon pražnjenja po članku). Svježe napunjena baterija ima 2,1 V po članku, tj. 126 V ili 16 V previše. Treba isklopiti 8 članaka; ćelijska preklopka ima 9 kontakata.

2. Dvostruka ćelijska preklopka upotrebljava se tamo gdje baterija napaja mrežu i prilikom punjenja pa treba izregulirati ne samo sniženje napona kad se baterija prazni nego i povišenje napona kad se ona puni. Najviši napon punjenja iznosi 2,75 V pa treba da bude uklopljeno samo 110 : 2,75 = 40 članaka. Treba isklopiti 60 — 40 = 20 članaka. Dvostruka ćelijska preklopka ima 21 kontakt.

(Ako je napon 220 V, preklopke su jednake kao gore, ali preklopka uklapa odn. isklapa uvijek po 2 članka.)

Primjer određivanja veličine stacionarne akumulatorske baterije

189

za rasklopno postrojenje, komandu i vlastiti pogon

Napon baterije 220 V

Trošila	Pojedinačni potrošak W	Broj uključenih trošila	Najveći istodobni potrošak W	Trajanje pražnjenja bez punjenja	Ukupni potrošak Wh
10 el. ventila za sklopke 110 kV	1800	1	1800	15 min	450
10 el. ventila za sklopke 35 kV	130	1	130	5 min	11
10 okidača sklopaka 35 kV	100	1	100	5 min	8
77 el. ventila za rastavljače	130	1	130	40 min	86
Releji selektivne zaštite i svjetlosni tabloi			500	1 h	500
120 pomoćnih releja	3	10	30	1 h	30
73 pokazivača položaja	2	73	146	4 h	584
47 žarulja za kom.-potvrdne sklopke	10	47	470	4 h	1880
30 žarulja za nuždu	60	30	1800	4 h	7200
Ukupno			5106		10749

Uz napon baterije 220 V dvosatni kapacitet iznosi 10 749 Wh : 220 V = 49 Ah, a to je već na granici za bateriju sa člancima L2 pa je dobro, naročito i s obzirom na kasnija proširenja, odabrati bateriju sa člancima L3 (10-satni kapacitet 108 Ah). Ovi članci mogu lako podnijeti i najjaču moguću struju pražnjenja 5106 W : 220 V = 23,2 A.

Veličina baterije određuje se samo s obzirom na potrebnu energiju uvijek onda ako je pogon sklopaka ručni, motorno-opružni ili pneumatski. Ako je pogon sklopaka pomoću magneta, veličinu baterije obično određuje potrebna maksimalna struja pražnjenja.

190

Koncentracija i sastav sumporne kiseline
za olovne akumulatore

Koncentracija		Potrebno koncentrirane sumporne kiseline		Potrebno destilir. vode	Koncentracija		Potrebno koncentrirane sumporne kiseline		Potrebno destilir. vode
°Bé	kg/dm³	lit.	kg	l ili kg	°Bé	kg/dm³	lit.	kg	l ili kg
13	1,10	0,084	0,155	0,945	24	1,20	0,177	0,326	0,875
14	1,11	0,092	0,169	0,939	25	1,21	0,187	0,344	0,866
15	1,12	0,099	0,181	0,934	26	1,22	0,196	0,361	0,859
16	1,13	0,105	0,193	0,930	27	1,23	0,207	0,381	0,849
17	1,13	0,114	0,210	0,924	28	1,24	0,216	0,398	0,841
18	1,14	0,122	0,225	0,918	29	1,25	0,227	0,418	0,834
19	1,15	0,130	0,239	0,913	30	1,26	0,238	0,438	0,823
20	1,16	0,140	0,258	0,904	35	1,32	0,299	0,551	0,771
21	1,17	0,148	0,273	0,898	40	1,38	0,368	0,678	0,710
22	1,18	0,157	0,289	0,891					
23	1,19	0,167	0,308	0,883	66	1,84	1,000	1,842	0,000

Formule za preračunavanje gustoće (kg/dm³) u stupnjeve Beaumé-a (Bé).

$$\text{gustoća} = \frac{144{,}3}{144{,}3 - n\,^0\text{Bé}} \qquad \text{stupnjevi Bé} = 144{,}3 - \frac{144{,}3}{\text{gustoća}}$$

Primjedbe: 1. Koncentriranu sumpornu kiselinu treba oprezno lijevati u vodu, a nikako obratno.

2. Približne podatke za normalnu (prosječnu) gustoću kiseline akumulatora vidi među općim podacima za olovne akumulatore u tablici 183. Tačne podatke daje dobavljač akumulatora.

191 a

Opći podaci o alkalijskim akumulatorima

1. Željezni ili Edisonovi akumulatori: plus-ploča nikal, minus-ploča željezo (danas se malo upotrebljavaju).

2. Nikal-kadmijevi ili Jungnerovi akumulatori: plus-ploča nikal, minus-ploča kadmij i željezni spojevi.

1. Željezni ili Edisonovi akumulatori: plus-ploča nikal, minus-ploča željezo (Ni-Fe) (danas se malo upotrebljavaju. — 2. Nikal-kadmijevi ili Jungnerovi akumulatori: plus-ploča nikal, minus-ploča kadmij (Ni-Cd). — 3. Srebrni akumulatori: plus-ploča srebro, minus ploča Zn (Ag-Zn).

Napon pražnjenja početni (prosječni) najniži (po ćeliji): Za Ni-Cd 1,3/1,2/1,0 V; za Ag-Zn 1,8/1,5/1,4 do 1,0 V (na kraju pražnjenja napon naglo opada).

Napon punjenja najviši (po ćeliji): Za Ni-Cd 1,78 V, za Ag-Zn 2,1 V.

Elektrolit: Za Ni-Cd 21-postotna otopina kalijeve lužine (KOH) s malim dodatkom litijeva hidroksida (za povećanje kapaciteta i trajnosti), gustoća 1,19 do 1,21 kg/dm³ pri 20° C. Za Ag-Zn KOH gustoće oko 1,39 kg/dm³ pri 15° C.

Broj pozitivnih ploča u ćeliji za 1 veći od broja negativnih.

Korisnost ampersatna za Ni-Cd 70 do 75%, za Ag-Zn 90 do 97%, vatsatna za Ni-Cd 50 do 55% za Ag-Zn oko 80%.

Težina: Za Ni-Cd oko 5 do 7 kg po 100 Ah, za Ag-Zn oko 0,21 kg za 10 Ah, oko 1 kg za 60 Ah (odatle izvanredna prednost ovih akumulatora kao prenosivih akumulatora).

Prednosti i mane alkalijskih Ni-Cd akumulatora prema olovnim **191 b**

Prednosti

1. Velika mehanička čvrstoća, neosjetljivost prema udarcima.
2. Sposobnost podnositi velike strujne udare bez oštećenja.
3. Praktički nema samoizbijanja pa nije potrebno periodičko nabijanje.
4. Nema procesa sličnog »sulfatiranju«.
5. Neosjetljivost prema preopterećenju.
6. Neosjetljivost prema niskim temperaturama.
7. Ne razvijaju se korozivni plinovi.
8. Veća trajnost.

Mane

1. Manja korisnost.
2. Manje konstantan napon.
3. Viša nabavna cijena.

Olovni i alkalijski akumulatori ne smiju se nikad postaviti u istoj prostoriji!

Alkalijski Ni-Cd akumulatori se u posljednje vrijeme sve više upotrebljavaju i za stacionarne baterije.

Pregled tipova galvanskih članaka **192**

Tip članka	Elektrode +	Elektrode —	Elektrolit	Depolarizator	EMS neopterećenog članka V	Unutarnji otpor Ω
a) Galvanski članci s krutim depolarizatorom						
Leclanché	ugljen	amalgamirani cink	salmijak	manganov dioksid (surac)	1,5—1,6	1—3
CuO—Zn u kaustičnoj sodi	bakreni oksid	amalgamirani cink	otopina kaustične sode	bakreni oksid	0 85—1	0,05—0,1
Lalande i Chaperon	bakar	amalgamirani cink	otopina potaše (30—40%)	bakreni oksid	0,85—0,90	mali
b) Galvanski članci s tekućinskim depolarizatorom						
Sa kromnom kiselinom	ugljen	amalgamirani cink	razrijeđ. sump. kiselina	kromna kiselina	2,0	
Sa bikromatom	ugljen	amalgamirani cink	razrijeđ. sump. kiselina	kalijev ili natrijev bikromat	2,0	0,5—1
Fuller	ugljen	amalgamirani cink	razrijeđ. sump. kiselina	kalijev bikromat	2,0	0,5—4
Daniell	bakar	amalgamirani cink	razrijeđ. sump. kiselina ili otop. $ZnSO_4$	zasićena otop. modre galice	0,95—1,14	2—6
Meidinger	bakar	amalgamirani cink	gorka sol ($MgSO_4$)	zasićena otop. modre galice	1,07 do 1,14	
Grove i Bunsen	ugljen	amalgamirani cink	razrijeđ. sump. kiselina	dušična kiselina	1,8—2	dosta mali
c) Galvanski članci s plinovitim depolarizatorom						
Féry Oxair	ugljen	amalgamirani cink	salmijak	kisik iz zraka	1,3	1,3

193 Galvanski članci za mjerenja

1. *Westonov normalni članak*: Anoda — živa u pasti Hg_2SO_4, katoda — amalgam kadmija u zasićenoj otopini $CdSO_4$. Daje 1,0183 V pri 20° C. Svi članci daju jednak, vremenski izvanredno konstantan napon, ali se napon ponešto mijenja s temperaturom.

2. *Westonov nezasićeni članak*: Kao normalni članak, ali katodna otopina nije zasićena. Daje 1,0183 do 1,0190 V praktički neovisno o temperaturi (između 5 i 40° C). Praktičniji je za upotrebu od Westonovog normalnog članka premda svaki članak mora biti posebno baždaren i napon se iz godine u godinu pomalo smanjuje.

3. *Helmholzov članak*: Anoda — živa u pasti Hg_2Cl, katoda — amalgamirani cink u zasićenoj otopini $ZnSO_4$. Daje 1 V pri 15° C.*

4. *Latimer-Clarkov članak*: Anoda — živa u pasti Hg_2SO_4, katoda — amalgam cinka u zasićenoj otopini $ZnSO_4$. Daje 1,4318 V pri 15° C*.

5. *Daniellov članak* (tip Kelvin): Anoda — bakar u otopini modre galice (gustoća 1,10), katoda — amalgamirani cink u otopini cinkova sulfata (gustoća 1,40). Daje 1,072 V pri 15° C.*

194 Galvanski članci domaće proizvodnje »TEŽ - Croatia«

Naziv	Tip**	Nazivni napon V	Radni napon srednji V	Radni napon kod Ω	Otpor pražnjenja Ω	Radno vrijeme sati h	Radno vrijeme do V	Uskladištenje mjeseci	Duljina × širina × visina mm	Težina g
Baterije za svjetiljke	BC 3[1])	3,0	2,8	10	10	1,5	1,50	3	21 ⌀ × 74	40
	BD 4,5	4,5	4,2	15	15	3,5	2,25	6	22 × 62,5 × 65	120
Članci za svjetiljke	EA 1,5	1,5	1,4	5	5	1,15	0,75	3	13,5 ⌀ × 51	15
	EC 1,5	1,5	1,4	5	5	1,5	0,75	3	21 ⌀ × 37	20
	EE 1,5	1,5	1,4	5	5	4	0,75	6	25 ⌀ × 49	45
	EJ 1,5	1,5	1,4	5	5	11	0,75	6	33 ⌀ × 63	90
Radio-baterije	PB 9	9	9	1800	1800	32	5,4	3		
	PB 22,5	22,5	22,5	22500	22500	32	12,4	3	28 × 15 × 50	
	PB 67,5	67,5	65	6750	6750	32	40,5	6	30 × 69 × 90	330
	PB 75	75	75	7500	7500	32	45	6	30 × 69 × 94	340
Anodne baterije	BD 60	60	58	300	6000	160	36	6	135 × 157 × 80	1850
	BD 90	90	87	450	9000	160	54	6	150 × 195 × 80	3000
	BD 120	120	116	600	12000	160	72	6	150 × 260 × 80	3750
	BD 150	150	145	750	15000	160	90	6	150 × 320 × 80	4750
Suhi članci	ELT 1,5	1,5	1,40	5	20	400	0,85	12	55 × 55 × 115	470
	EMT 1,5	1,5	1,45	5	10	350	0,85	12	65 ⌀ × 170	900
Nalijevajući članci	ELF 1,5	1,5	1,40	5	20	400	0,85	2)	55 × 55 × 125	480
	B-9[3])	1,5	1,40	5	30	1500	0,85	2)	60 ⌀ × 175	720

* EMS se ponešto mijenja s temperaturom.

** Ove oznake, koj ma se još uvijek služi »TEŽ-Croatia«, jesu oznake VDE. Odgovarajuće oznake JUS (prema JUS N.J2.030/1960) za pojedine baterije odn. članke jesu: BC 3 — 2 R 10, BD 4,5 — 3 R 12, EA 1,5 — R 6, EC 1,5 — R 10, EE 1,5 — R 14, EJ 1,5 — R 20, BD 90 — 60 R 12, BD 120 — 80 R 12, BD 150 — 100 R 12, PB 9 — 6 F 22, PB 22,5 — 15 F 20, PB 67,5 — 45 F 40, PB 75 — 50 F 40, ELT 1,5 — S 4, EMT 1,5 — R 40, ELT 1,5 — S 4.

1) Ovo je, u stvari, baterija za slušne instrumente.

2) U suhom stanju mogu se držati na skladištu praktički neograničeno vrijeme.

3) Uz otpor pražnjenja 10 oma radno vrijeme iznosi 600 sati.

NADZEMNI VODOVI

Definicije pojmova

prema Tehničkim propisima za gradnju nadzemnih vodova jake struje (dodatak Službenom listu FNRJ br. 24/60)

V o d je skup svih dijelova koji služe za nadzemno vođenje vodiča koji prenose i razvode električnu energiju, gdje su obuhvaćeni: vodiči, zaštitna užad, uzemljenja, izolatori, nosači, konzole, stupovi i temelji.

N i s k o n a p o n s k i v o d je vod čiji nazivni napon ne prelazi 1000 volta.

V i s o k o n a p o n s k i v o d je vod čiji nazivni napon prelazi 1000 volta.

N a z i v n i n a p o n je napon prema kome je vod dimenzioniran, građen i nazvan (vidi JUS N.A2.001).

M a k s i m a l n i p o g o n s k i n a p o n je vrijednost napona između faznih vodiča koja u normalnom pogonu ne smije biti prekoračena (vidi JUS N.A2.001).

V o d i č i su žice i užad koja služe za provođenje struje.

Z a š t i t n o u ž e je uzemljena žica ili uže koje služi za zaštitu od atmosferskih prenapona.

S i g u r n o s n o u ž e je uzemljena žica ili uže koje služi za zaštitu od dodira sa drugim vodom.

S t v a r n i p r e s j e k žice je njezin geometrijski presjek, a stvarni presjek užeta je zbroj geometrijskih presjeka svih žica u užetu, bez obzira da li su žice od istog ili od različitog materijala.

I s p i t n a č v r s t o ć a žice ili užeta je naprezanje na zatezanje (izračunato na osnovu početnog stvarnog presjeka) koje žica odnosno uže može izdržati jednu minutu, a da se ne prekine.

I s p i t n o o p t e r e ć e n j e žice ili užeta je sila zatezanja koju žica odnosno uže može izdržati jednu minutu, a da se ne prekine.

M a k s i m a l n o r a d n o n a p r e z a n j e vodiča odnosno zaštitnog užeta je odabrana računska vrijednost koju će horizontalna komponenta naprezanja na zatezanje postići bilo pri —5° C uz normalni dodatni teret, bilo pri —20° C bez dodatnog tereta.

N o r m a l n o d o z v o l j e n o n a p r e z a n j e vodiča odnosno zaštitnog užeta je naprezanje koje ne smije biti prekoračeno u normalnim prilikama, tj. pri —5° C uz normalni dodatni teret i pri —20° C bez dodatnog tereta, a odnosi se na horizontalnu komponentu naprezanja.

I z u z e t n o d o z v o l j e n o n a p r e z a n j e vodiča odnosno zaštitnog užeta je naprezanje koje ne smije biti prekoračeno u izuzetnim prilikama, tj. pri —5° C uz izuzetni dodatni teret, a odnosi se na naprezanje u ovjesištu (tački vješanja).

Z a t e z a n j e (i s t e z a n j e) vodiča odnosno zaštitnog užeta je umnožak stvarnog presjeka i maksimalnog radnog naprezanja.

D o d a t n i t e r e t je opterećenje vodiča odnosno zaštitnog užeta injem, ledom ili snijegom koje djeluje vertikalno prema dolje i dodaje se težini vodiča odnosno zaštitnog užeta.

T e ž i n a   v o d i č a odnosno zaštitnog užeta (sa dodatnim opterećenjem ili bez njega) koja opterećuje ovjesište (tačku vješanja) je umnožak težine vodiča odnosno zaštitnog užeta po metru (sa dodatnim teretom ili bez njega) i gravitacionog raspona u metrima. Pod gravitacionim rasponom podrazumijeva se udaljenost od najniže tačke lančanice s jedne strane stupa do najniže tačke lančanice s druge strane stupa.

P r o v j e s (u g i b) vodiča odnosno zaštitnog užeta je vertikalni razmak od spojnice u ovjesištu (tački vješanja) do vodiča odnosno zaštitnog užeta, i to mjereno u sredini raspona.

R a s p o n je horizontalni razmak između dva susjedna stupa.

Z a t e z n o   p o l j e je dio voda koji se nalazi između dva susjedna zatezna stupa.

P r e l a z n i   r a s p o n je raspon koji prelazi preko nekog drugog objekta.

S u s j e d n i   r a s p o n je raspon koji se nalazi neposredno uz prelazni raspon.

P r e l a z n o   p o l j e je zatezno polje koje prelazi preko nekog drugog objekta.

S u s j e d n o   p o l j e je zatezno polje koje se nalazi neposredno uz prelazno polje.

P o j a č a n a   m e h a n i č k a   s i g u r n o s t je pojačana sigurnost voda postignuta izolacijom koja je jače dimenzionirana u mehaničkom pogledu.

P o j a č a n a   e l e k t r i č k a   s i g u r n o s t je pojačana sigurnost voda postignuta izolacijom koja je jače dimenzionirana u električkom pogledu.

S i g u r n o s n i   r a z m a k je najmanji dozvoljeni razmak između dijelova pod naponom, odnosno između dijela pod naponom i uzemljenog dijela voda.

S i g u r n o s n a   v i s i n a je minimalna dozvoljena vertikalna udaljenost vodiča odnosno dijelova pod naponom od zemlje ili od nekog objekta na zemlji uz provjes pri $+40^0$ C odnosno pri -5^0 C, s normalnim dodatnim teretom bez vjetra.

S i g u r n o s n a   u d a l j e n o s t je minimalna dozvoljena udaljenost u bilo kojem pravcu vodiča odnosno dijelova pod naponom od zemlje ili nekog objekta na zemlji uz provjes pri $+40^0$ C i opterećenje od vjetra od nule do punog iznosa.

S t u p je bilo koja konstrukcija koja služi za nošenje izolatora, vodiča i zaštitnih užadi (na primjer stup, zidna konzola, nosač i sl.).

N o s e ć i   s t u p je stup koji služi za nošenje vodiča i zaštitnih užadi.

Z a t e z n i   s t u p je stup koji služi za zatezanje vodiča i zaštitnih užadi.

N o r m a l n i   s l u č a j   o p t e r e ć e n j a stupa je onaj koji nastaje kada su svi dijelovi neoštećeni.

I z v a n r e d n i   s l u č a j   o p t e r e ć e n j a stupa je onaj koji nastaje kad je jedan vodič ili jedno zaštitno uže s jedne strane stupa prekinuto.

U z e m l j e n j e je galvansko povezivanje pojedinih dijelova voda sa zemljom.

O t p o r   u z e m l j e n j a je otpor od uzemljenog dijela voda do toliko udaljene tačke tla da promjena udaljenosti ne utiče na veličinu otpora.

196

Brzo približno određivanje težine užeta u kg/km

Za bakar i broncu: presjek × 10 — presjek
Npr. 35 mm² × 10 — 35 = 315 kg/km.
Za aluminij i aldrej: presjek × 3 — presjek × 0,3
Npr. 35 mm² × 3 — 35 · 0,3 = 95 kg/km.
Za alučel 6 : 1 : presjek aluminija × 4
Npr. 70 mm² × 4 = 280 kg/km.
Za čelik: presjek × 8.
Npr. 35 mm² × 8 = 280 kg/km.

197

Žice za nadzemne vodove

(Dozvoljena je upotreba žica samo od bakra, bronce ili čelika, i to samo za raspon do 80 m i presjek do 16 mm². Inače se mora uvijek upotrijebiti uže. Proizvodnja užeta od bakra zabranjena je.**

Presjek mm²		Promjer mm		Ispitni teret kp¹)					
nazivni	izradbeni	nazivni	tolerancija	Cu	Bc I	Bc II	Bc III	Č I	Č II
4*	3,97	2,25	± 0,06	159	199	238	278	—	—
6	5,94	2,75	± 0,06	238	297	356	416	238	416
10	9,90	3,55	± 0,08	396	495	595	693	396	693
16	15,90	4,5	± 0,08	636	795	955	1113	636	1113

Nazivni presjek mm²	Omski otpor pri 20° C Ω/km²)				Težina kg/km³)		
	Cu	Bc I	Bc II	Bc III	Cu, Bc I	Bc II, III	Č I, II
4*	4,50	5,24	6,99	14,0	35,4	34,5	—
6	3,00	3,50	4,67	9,35	52,9	51,3	46,3
10	1,80	2,10	2,81	5,60	88,1	85,5	77,2
16	1,12	1,31	1,75	3,49	141,5	137,5	124

¹), ²), ³) Vidi primjedbe uz 198a, 198b i 199. Otpor čeličnih žica vidi u 201.

* Žica ovog presjeka smije se upotrebljavati samo za kućne priključke i za instalacije na slobodnom do 20 m raspona.

** Savezno izvršno vijeće, Naredba o zabrani upotrebe bakra, njegovih legura i njihovih otpadaka u određene svrhe, Službeni list FNRJ br. 32/60.

198 a

Žice za užeta za nadzemne vodove

od bakra, aluminija, aldreja i bronce prema DIN 48 200

Promjer mm		Ispitno opterećenje kp[1])			Omski otpor pri 20° C Ω/km[2])			Težina kg/km[3])	
nazivni	tolerancija	bakar	aluminij	aldrej	bakar	aluminij	aldrej	bakar	aluminij i aldrej
1,35	± 0,08	57	—	—	12,5	—	—	12,7	—
1,7		91	41	68	7,9	12,6	14,7	20,2	6,1
1,8		102	46	76	7	11,3	13,1	22,6	6,9
2,1	± 0,06	139	62	104	5,2	8,3	9,6	30,8	9,4
2,23		—	70	—	—	7,4	—	—	10,5
2,25		159	72	119	4,5	7,2	8,4	35,4	10,7
2,3		—	75	—	—	6,9	—	—	11,2
2,36		—	79	—	—	6,6	—	—	11,8
2,45	± 0,06	—	85	—	—	6,1	—	—	12,7
2,5		196	83	147	3,6	5,9	6,8	43,7	13,3
2,7		—	97	—	—	5	—	—	15,5
2,8		246	105	185	2,9	4,7	5,4	54,8	16,6
3		283	120	212	2,5	4,1	4,7	62,9	19,1
3,2	± 0,05	—	137	—	—	3,6	—	—	21,7
3,4		—	154	—	—	3,2	—	—	24,5
3,8		—	192	—	—	2,5	—	—	30,6
		bronca I	bronca II	bronca III	bronca I	bronca II	bronca III	bronca I	bronca II i III
1,35	± 0,05	71	86	100	14,6	19,5	39	12,7	12,4
1,7		113	136	159	9,2	12,2	24,4	20,2	19,6
1,8		127	152	178	8,2	10,9	21,8	22,6	22
2,1	± 0,06	173	208	242	6	8	16	30,8	30
2,25		199	238	278	5,2	7	14	35,4	34,5
2,5		246	294	344	4,2	5,7	11,4	43,7	42,5
2,8		308	370	431	3,4	4,5	9	54,8	53,1
3		354	425	495	2,9	3,9	7,8	62,9	61

[1]) Ispitno opterećenje mora djelovati barem 1 min, a da se žica ne prekine. Navedene vrijednosti za ispitno opterećenje vrijede samo za žicu nazivnog promjera. Ako žica nema tačno nazivni promjer, treba ispitno opterećenje izračunati na osnovu ispitne čvrstoće: za bakrenu žicu 40 kp/mm², za aluminijsku žicu tanju od 2,5 mm 18, za Al-žicu 2,5 mm ili deblju 17, za aldrejsku žicu 30, za broncu I 50, za broncu II 60, za broncu III 70 kp/mm². Pri ispitivanju žice se moraju prekinuti uz izraziti konus na mjestu prekida. Žice za užeta treba ispitivati nakon pletenja.

[2]) Otpori su izračunati za nazivni promjer. Ako žica nema tačno nazivni promjer, treba otpor izračunati na osnovu vodljivosti: Za Cu 56, za Al 34,8, za aldrej 30, za broncu I 48, za broncu II 36, za broncu III 18 Sm/mm².

[3]) Težina je također izračunata za nazivni promjer na osnovu specifične težine: za bakar i broncu I 8,9, za aluminij i aldrej 2,7, za broncu II i III 8,65 kg/dm³.

Čelične pocinčane žice za užeta za nadzemne vodove

a) Prema Din 48 200

Promjer mm		Ispitno opterećenje kp¹)				Težina
nazivni	tolerancija	Č I	Č II	Č III	Č IV	kg/km ²)
1,35	± 0,06	57	100	172	214	11,2
1,45		—	—	198	—	12,9
1,65	± 0,08	—	—	257	—	16,7
1,7		91	159	272	340	17,7
1,8		102	178	305	381	19,9
1,95	± 0,10	—	—	359	—	23,3
2,1		139	242	416	519	27,0
2,15		—	—	436	—	28,3
2,25		159	278	477	596	31,0
2,3		—	—	499	—	32,4
2,4		—	—	543	—	35,3
2,5		196	344	589	736	38,3
2,55	± 0,10	—	—	613	—	39,8
2,57		—	363	—	—	40,5
2,7		—	401	688	—	44,7
2,75		238	416	713	891	46,3
2,8		246	431	741	924	48,0
2,92		—	469	—	—	52,2
3		283	495	848	1060	55,1
3,1	± 0,12	—	529	—	—	58,9
3,2		—	—	965	—	62,7
4,5		636	1110	—	—	124

Vrijednosti za promjer i ispitno opterećenje odnose se na pocinčane žice. Za pocinčan e vrijedi 204. Za otpor vidi 201.

b) Prema međunarodnim preporukama (IEC, provizorne vrijednosti)

(Vrijedi samo za čelične žice aluceličnih užeta)

Nazivni promjer žice mm	Minimalna prekidna čvrstoća kp/mm²	Minimalno istezanje pri prekidu ε %	Minimalno naprezanje pri ε = 1 % kp/mm²	Spec. težina pri 20° C kg/dm³	Koef. lin. toplinskog rastezanja 1/° C	Modul elastičnosti (približno) kp/mm²
1,270 — 2,284	133,6	4,0	119,5	7,80	$1{,}15 \cdot 10^{-5}$	20 000
2,285 — 3,046		4,5	116,0			
3,047 — 4,823		5,0	112,5			

¹) Ispitno opterećenje mora djelovati barem 1 min, a da se žica ne prekine. Navedene vrijednosti za ispitno opterećenje vrijede samo za žicu nazivnog promjera. Ako žica nema tačno nazivni promjer, treba ispitno opterećenje izračunati na osnovu ispitne čvrstoće: Za Č I 40 kp/mm², za Č II 70, za Č III 120, za Č IV 150 kp/mm² pocinčane žice. Pri ispitivanju žice se moraju prekinuti uz izraziti konus na mjestu prekida. Žice za užeta treba ispitivati nakon pletenja.

²) Izračunato za nazivni promjer na osnovu specifične mase 7,8 kg/dm³.

Ω/km

199 Sastav i svojstva užeta od bakra, bronce, aluminija, aldreja i čelika

prema DIN 48 201 (prema kojem i jugoslavenske tvornice proizvode užad)

Presjek[1]) mm² nazivni	Presjek[1]) mm² izradbeni	Žice broj	Žice promjer mm	Promjer užeta mm	Srednji omski otpor Ω/km pri 20°C bakar	aluminij	aldrej	bronca I	bronca II	bronca III
10	10	7	1,35	4,1	1,786	—	—	2,086	2,785	5,571
16	15,9	7	1,7	5,1	1,123	1,807	2,096	1,314	1,734	3,486
25	24,2	7	2,1	6,3	0,738	1,187	1,377	0,857	1,143	2,286
35	34,4	7	2,5	7,5	0,525	0,845	0,980	0,600	0,814	1,628
50	49,5	7	3	9	0,364	0,586	0,680	0,414	0,557	1,114
50	48,3	19	1,8	9	0,372	0,599	0,694	0,432	0,574	1,147
70	65,8	19	2,1	10,5	0,271	0,435	0,505	0,316	0,421	0,842
95	93,2	19	2,5	12,5	0,192	0,309	0,358	0,221	0,300	0,600
120	117	19	2,8	14	0,153	0,246	0,285	0,179	0,237	0,474
150	147	37	2,25	15,8	0,122	0,196	0,227	0,141	0,189	0,378
185	182	37	2,5	17,5	0,098	0,158	0,183	0,1135	0,1541	0,308
240	243	61	2,25	20,3	0,074	0,118	0,137	0,0853	0,1148	0,229
300	299	61	2,5	22,5	0,060	0,096	0,112	0,0689	0,0934	0,1868

Nazivni presjek mm²	Težine užeta u kg/km: bakar granice	bakar srednja vrijed.	bronca II i III granice	bronca II i III srednja vrijed.	aluminij i aldrej granice	aluminij i aldrej srednja vrijed.	čelik granice	čelik srednja vrijed.
10	84-99	92	82-96	89	—	—	73-88	81
16	136-155	146	132-151	142	41-47	44	115-141	128
25	208-236	222	202-230	216	63-72	68	175-215	195
35	298-332	315	289-322	306	90-101	96	252-300	276
50	428-467	448	416-453	435	130-142	136	368-426	397
50	416-472	444	405-459	432	126-143	135	353-427	390
70	566-643	605	550-625	588	172-195	184	477-585	531
95	809-903	856	787-878	833	246-274	260	686-817	752
120	1021-1128	1075	992-1096	1044	310-342	326	869-1016	943
150	1270-1434	1352	1235-1394	1315	385-435	410	1073-1300	1187
185	1577-1761	1669	1533-1711	1722	478-534	506	1337-1592	1465
240	2085-2365	2225	2036-2298	2167	635-717	676	1770-2145	1958
300	2600-2904	2752	2527-2823	2675	789-881	835	2205-2625	2415

Primjedbe: 1. Nazivni presjek služi samo za obilježavanje užeta. Faktično se užeta izrađuju prema izradbenom presjeku. Stvarni presjek gotovog užeta smije se razlikovati od izradbenog presjeka koliko to dopušta tolerancija za žice.

2. Za žice od kojih se izrađuju užeta vidi tablicu 198a.

3. Uže se plete oko jedne središnje žice tako da u prvom sloju ima 6, u drugom 12, u trećem 18, a u četvrtom 24 žice. Visina jednog navoja je 11 do 14 × promjer dotičnog sloja. Suka se naizmjenično, jedan sloj u jednom drugi u drugom smjeru. Vanjski sloj mora biti desnovojan.

4. Omski otpor i težina izračunati su na osnovu vodljivosti i spec. mase koje su navedene ispod tablice 198a. Granice za težinu izračunate su uzimajući u obzir tolerancije u promjeru žica i visini navoja pri pletenju (11 do 14 × promjer sloja).

5. Savezno izvršno vijeće zabranilo je proizvodnju golih bakrenih užeta za nadzemne električne vodove, vidi fusnotu** na strani 327.

Nazivna opterećenja užeta od bakra, bronce, aluminija, aldreja i čelika **200**

Nazivni presjek	Nazivno opterećenje u kilopondima kp						
	bakar i čelik I	bronca I	bronca II	bronca III i čelik II	aluminij	aldrej	čelik III
10	399	497	602	700	—	—	—
16	637	791	952	1113	287	476	476
25	973	1211	1456	1694	434	728	728
35	1372	1722	2058	2408	581	1029	1029
50[1])	1981	2478	2975	3465	840	1484	1484
50[2])	1938	2431	2888	3382	874	1348	1349
70	2641	3287	3952	4598	1178	1976	1976
95	3724	4674	5586	6536	1577	2793	2793
120	4674	5852	6030	8189	1995	3515	3515
150	5883	7363	8806	10286	2664	4403	4403
185	7252	9102	10878	12728	3071	5430	5439
240	9699	12139	14518	16958	4392	7259	7259
300	11956	15006	17934	20984	5063	8967	8967

[1]) Sa 7 žica. [2]) Sa 19 žica.

Nazivno opterećenje užeta jednako je zbroju ispitnih opterećenja pojedinih žica. Prekidno opterećenje iznosi 90 do 95% nazivnog opterećenja (za aluminij barem 90%, za aldrej barem 95%).

Čelične žice i užeta kao vodiči **201**

Čelik kao vodič za nadzemne vodove dolazi u obzir za slabo opterećene, sporedne vodove visokog napona gdje upotreba takvih vodiča može biti ekonomična.

Najbolje u električkom pogledu jesu čelične žice i užeta razmjerno male čvrstoće, tj. 40 do 70 kp/mm^2. Svi daljnji podaci odnose se na takve žice i užeta, i to na žice do 16 mm^2 i na užeta do 150 mm^2.

Vodljivost za istosmjernu struju iznosi oko 7 Sm/mm^2 (spec. otpor = 0,143 Ωmm^2/m).

Na vodljivost za izmjeničnu struju jako utječe magnetičnost čelika. Ako je frekvencija 50 Hz, mogu se za praktično računanje upotrijebiti *približne* vrijednosti iz ove tablice (prema VDE 0295/VI. 42. »Merkblatt über Stahlleitungen für Starkstromfreileitungen):

Gustoća struje	Djelatni otpor	Induktivni otpor po fazi	Gustoća struje	Djelatni otpor	Induktivni otpor po fazi
A/mm^2	Ωmm^2/km	Ω/km	A/mm^2	Ωmm^2/km	Ω/km
≈ 0	150	0,65	1,0	200	1,75
0,2	155	0,85	1,2	210	1,82
0,4	165	1,25	1,4	220	1,80
0,6	180	1,47	1,6	235	1,75
0,8	190	1,65	1,8	250	1,65

Da se dobije djelatni otpor po km duljine voda, treba vrijednosti u tablici podijeliti s izradbenim presjekom.

Vrijednosti za induktivni otpor koje su navedene u tablici odnose se na razmak između vodiča 1 m, no utjecaj razmaka između vodiča može se zanemariti. Za jednožične vodiče (osobito od čelika čvrstoće 40 kp/mm^2) može induktivni otpor biti znatno veći nego što je navedeno u tablici.

202 a

Alučelična užeta
a) Standardna užeta prema DIN 48 204

Nazivni presjek mm²	Čelična jezgra: broj žica	promjer žice mm	promjer užeta mm	presjek užeta mm²	Aluminijski plašt: broj žica	promjer žica mm	presjek užeta mm²	Ukupni promjer užeta mm	Ukupni presjek užeta mm²	Omjer presjeka Al:Če
16/2,5	1	1,8		2,55	6	1,8	15,3	5,4	17,8	6
25/4	1	2,25		4,0	6	2,25	23,8	6,8	27,8	6
35/6	1	2,7		5,7	6	2,7	34,3	8,1	40,0	6
50/8	1	3,2		8,0	6	3,2	48,3	9,6	56,3	6
70/12	7	1,45	4,35	11,6	26	1,8	66,2	11,6	77,8	5,7
95/15	7	1,65	4,95	15,0	26	2,1	90,0	13,4	105,0	6
120/21	7	1,95	5,85	20,9	26	2,45	122,6	15,7	143,5	5,8
150/25	7	2,15	6,45	25,4	26	2,7	148,9	17,3	174,3	5,8
185/32	7	2,4	7,20	31,7	26	3,0	183,8	19,2	215,5	5,8
210/36	7	2,55	7,65	35,8	26	3,2	209,1	20,5	244,9	5,8
240/40	7	2,7	8,10	40,1	26	3,4	236,0	21,7	276,1	5,9
300/50	7	3,0	9,0	49,5	26	3,8	294,9	24,2	344,4	5
125/29	7	2,3	6,9	29,1	30	2,3	124,6	16,1	153,7	4,3
170/40	7	2,7	8,1	40,1	30	2,7	171,8	18,9	211,9	4,3
210/50	7	3,0	9,0	49,5	30	3,0	212,1	21,0	261,6	4,3
310/100	19	[1])	13,2	100,2	78	2,23	305,0	26,6	405,2	3
340/110	19	[2])	13,9	110,6	78	2,36	341,2	28,1	451,8	3

Nazivni presjek mm²	Srednji omski otpor Ω/km pri 20°C	Srednja težina kg/km: čelična jezgra	aluminijski plašt	ukupna	Nazivni teret kp
16/2,5	1,833	19,8	42,0	61,8	523
25/4	1,200	31,0	65,6	96,6	818
35/6	0,833	44,6	94,5	139,1	1143
50/8	0,600	62,5	133,0	195,5	1608
70/12	0,435	92	182,5	274,5	2324
95/15	0,319	119	249	368	3070
120/21	0,235	167	338	505	4251
150/25	0,192	203	411	614	5017
185/32	0,158	253	507	760	6229
210/36	0,138	286	578	864	7068
240/40	0,123	320	651	971	7938
300/50	0,096	395	813	1208	9835
125/29	0,23	232	344	576	5161
170/40	0,167	320	474	794	6959
210/50	0,137	395	585	980	8991
310/100	0,095	798	870	1668	15789
340/110	0,085	883	981	1864	16582

Vidi primjedbe na narednoj strani!

[1]) 1 × 2,92 + 18 × 2,57.
[2]) 1 × 3,1 + 18 × 2,7.

b) Neka debela alučelična užeta za vodove 220 kV koja se upotrebljavaju u SFRJ

Nazivni presjek mm²	Čelična jezgra				Aluminijski plašt			Ukupni promjer užeta	Ukupni presjek užeta	Omjer presjeka
	broj žica	promjer žice mm	promjer užeta mm	presjek užeta mm²	broj žica	promjer žica mm	presjek užeta mm²	mm	mm²	Al : Če
360/57	19	1,96	9,80	57,4	26	4,20	360,1	26,60	417,5	6,3
240/56	7	3,20	9,60	56,3	30	3,20	241,3	22,40	297,6	4,3
350/79	19	2,30	11,50	78,9	30	3,85	349,3	26,90	428,2	4,4

Nazivni presjek mm²	Srednji omski otpor Ω/km pri 20° C	Srednja težina kg/km			Nazivni teret kp
		čelična jezgra	aluminijski plašt	ukupna	
360/57	0,080	458	992	1450	12 988
240/56	0,120	449	665	1114	10 865
350/79	0,083	629	1005	1634	15 421

c) Primjedbe uz tablice 202a i 202b

1. Nazivni presjek služi samo za obilježavanje užeta. Faktično se užeta izrađuju prema izradbenom presjeku koji je u tablici naveden posebno za čeličnu jezgru, a posebno za alum. plašt. Stvarni presjek gotovog užeta smije se razlikovati od izradbenog presjeka koliko to dopušta tolerancija za žice.

2. Za žice od kojih se izrađuju užeta vidi tablice 198a i 198b.

3. Uže se plete naizmjenično, jedan sloj u jednom, drugi u drugom smjeru; vanjski sloj mora biti desnovojan. Visina jednog navoja je 10 do 14 × promjer dotičnog sloja.

4. Omski otpor je izračunat na osnovu vodljivosti aluminija 34,8 Sm/mm², i to kao da struju vodi samo aluminijski plašt, a čelična jezgra da uopće ne vodi struju. Navedeni otpori vrijede samo za istosmjernu struju. Kod izmjenične struje dolazi do prividnog povećanja otpora zbog gubitaka uslijed magnetiziranja čelične jezgre; to je povećanje otpora znatno (20% i više kod najvećeg dopuštenog opterećenja) kod užeta manjeg presjeka sa samo jednom žicom i samo jednim slojem aluminijskih žica. Kod užeta velikog presjeka sa 2 ili 3 unakrsno pletena aluminijska sloja to se povećanje otpora može zanemariti, osobito ako su užeta slabije opterećena.

5. Za ukupnu težinu po km dopušta se tolerancija ± 5% prema vrijednostima u tablici koje su izračunate na osnovu spec. težine od 2,7 za aluminij i 7,8 kg/dm³ za čelik.

6. Nazivni teret užeta jednak je zbroju ispitnih tereta pojedinih žica. Ispitni teret užeta = 0,9 × aritmetička sredina zbroja ispitnih tereta pojedinih žica uzevši u obzir omjer presjeka Al : Č.

7. Užeta treba da odgovaraju i tehničkim dobavnim uvjetima za aluminijska i alučelična užeta prema DIN 48 202 (vidi narednu stranu).

d) Američka i britanska alučelična užeta

Užeta konstruirana prema kanadskoj normi C 49 imaju nazive pojedinih ptica. Jednaka konstrukcija užeta upotrebljava se i u SAD. Tanja užeta označuje se u AWG (American Standard Wire Gauge) ili B & S (Brown & Sharp Gauge) što je isto (vidi 33). Deblja užeta označuju se u circular mils.

Britanski standard B. S. 215 označuje alučelična užeta ekvivalentnim nazivnim presjekom standardnog bakra u sq. in.

203 Tehnički dobavni uvjeti za aluminijska i alučelična užeta prema DIN 48 202

1. Zahtjevi na aluminijske žice

Za aluminijske žice treba upotrijebiti čisti aluminij Al 99,5 H prema DIN 1712. Za stupanj čistoće mjerodavni su atesti o analizi, koje je izdala dobavljačka talionica.

Površina blokova za valjanje odnosno šipaka za prešanje mora biti glatka, bez oštrih niti od lijevanja i bez oštrih bridova.

Površina žica ne smije pokazivati oštećenja i mora biti praktički glatka, to jest neravnosti se ne mogu primijetiti ni golim okom ni prstom. Osim toga ona mora biti čista od čestica drugih metala, a osobito od čestica bakra.

Zavarena mjesta: Ako je gotove žice potrebno zavariti, to treba izvesti uz najveću pomnju. Upotrebljava li se pri zavarivanju kakva kemikalija, tada zavarena mjesta i njihovu okolinu treba savjesno očistiti od takvih kemikalija. Zavareno mjesto treba u prikladnoj podlozi (kalupu) izgladiti i očvrstiti čekićanjem, i to bez stvaranja srhova. Zavareno se mjesto ne smije obrađivati struganjem, a ne smiju se upotrijebiti ni sredstva za poliranje. Zavareno mjesto mora nakon čekićanja imati približno jednaki promjer kao žica. Ono mora imati barem 50% one minimalne čvrstoće koja je propisana za žicu.

Mjere i ispitni teret žica izvađenih iz užeta moraju odgovarati normi DIN 48200, list 1.*

Zatezna čvrstoća — reducirana na stvarni presjek žice — ne smije prijeći 23 kp/mm^2 (vidi DIN 48 501). Nakon jednominutnog opterećenja teret treba sve do prekida povećavati tako naglo kako to dopušta ispitni uređaj. Čvrstoća na vlak od 23 kp/mm^2 smije se kod pojedinih žica prekoračiti ako broj žica takve veće čvrstoće ne prelazi 15% ukupnog broja aluminijskih žica u užetu i ako istezanje kod prekida nije manje od 2,2%.

Izduženje žice pri prekidu mora iznositi barem 2,2%; mjerna dužina je pritom jednaka 35-strukom promjeru žice.

Žice treba ispitati savijanjem prema DIN 51 211. Za razliku od toga, promjer cilindra oko kojega se žica savija mora za žicu bilo kojeg promjera biti jednak petorostrukom promjeru žice. Žica mora izdržati 6 savijanja.

Žica se mora dati namotati oko jedne žice jednakog promjera u barem 6 gustih zavoja jedan do drugoga, odmotati i opet namotati, a da pritom ne pukne.

Specifični otpor žica ne smije pri 20° C prekoračiti 1/34,8 = 0,028 74 om · m/mm^2. Otpor R_t izmjeren pri t° C treba preračunati na 20° C po formuli

$$R_t = R_{20}\ [1 + 0{,}004\ (t - 20)]$$

2. Zahtjevi na čelične žice

Mjere i ispitni teret žica izvađenih iz užeta moraju odgovarati normi DIN 48 200, list 3**

Prema VDE 0210/5.62 § 6g zavarena mjesta na jednožičnim čeličnim jezgrama alučeličnih užeta nisu dopuštena. Pocinčane čelične žice za višežilne jezgre mogu se zavariti, ali samo prije pocinčanja.

* Vidi stranu 328.
** Vidi stranu 329.

Izduženje: Žice ispitne čvrstoće 120 kp/mm² (čelik III) smiju se uz specifično opterećenje od 100 kp/mm² izdužiti najviše 0,8%, a za 10% žica najviše 1%. Prekidno izduženje treba da iznosi barem 6% mjerne duljine jednake 35-strukom promjeru žice. Za 10% proba prekidno istezanje smije iznositi između 5 i 6%.

Savijanje: Žice moraju izdržati barem broj savijanja naveden u ovoj tablici:

d	*D*	*n*	*d*	*D*	*n*	*d*	*D*	*n*
1,45	10	10	2,15	10	5	2,55	15	9
1,65	10	8	2,25	10	5	2,7	15	7
1,8	10	7	2,3	15	10	3,0	15	5
1,95	10	6	2,4	15	10	3,2	20	8

d — promjer žice, *D* — promjer cilindričnog trna oko kojeg se žica namata, *n* — najmanji broj namatanja.

Kvalitet pocinčanja ispituje se prema VDE 0210/5.62 — Dodatak.

3. Zahtjevi na užeta

Za konstrukciju užeta mjerodavne su norme DIN 48 201 i 48 204.

Zavarena mjesta na vanjskom sloju užeta moraju biti međusobno udaljena barem 200 m. Položaj tih zavarenih mjesta treba na gotovom užetu jasno označiti, na primjer omatanjem izolacionom trakom. Broj zavarenih mjesta treba naznačiti na bubnju.

Opseg ispitivanja. Za dužine do 10 km smije se tražiti ispitivanje svih propisanih svojstava za svakih započetih 5 km, a za dužine preko 10 km još po jedno ispitivanje svih propisanih svojstava za svakih daljnjih 10 km.

204

Zahtjevi na pocinčanje čeličnih žica

1. Prema VDE 0210/5.62 dodatak

a) Ispitivanje debljine pocinčanja

Potrebna naslaga cinka iznosi (po njoj se prosuđuje debljina pocinčanja):

Nazivni promjer žice mm	Naslaga cinka u g/m² za žice ispitne čvrstoće < 60 kp/mm²	≥ 60 kp/mm²	Nazivni promjer žice mm	Naslaga cinka u g/m² za žice ispitne čvrstoće < 60 kp/mm²	≥ 60 kp/mm²
1,35—1,50	180	180	iznad 2,20—2,80	—	225
iznad 1,50—1,80	200	195	„ 2,50—3,20	250	—
„ 1,80—2,20	—	210	„ 2,80—3,20	—	240
„ 1,80—2,50	225	—	„ 3,20—4,00	275	—

Naslaga cinka određuje se tako da se u kiselinskoj kupki rastvori cink pa se odredi razlika težine vaganjem žice prije i nakon rastvaranja ili se količina cinka određuje indirektno mjerenjem volumena razvijenog vodika.

b) Ispitivanje prianjanja cinka o žicu

Žica se omota oko trna promjera 8*d* (*d* - promjer žice) i opet odmota. Nakon toga se pri struganju noktom ne smiju sa žice ljuštiti čestice cinka.

c) Ispitivanje jednolikosti pocinčanja (Preeceova metoda)

Ispituje se umakanjem žice u otopinu modre galice dobivenu otapanjem jednog težinskog dijela modre galice u 5 težinskih dijelova vode i neutraliziranu bakrenim karbonatom. Gotova otopina ima spec. masu 1,113 do 1,115 kg/dm^3. Prije umakanja se komad žice od cca 50 cm namota oko trna 8-strukog promjera žice, zatim odmota i rukom izravna. Nakon toga se iz sredine izreže komad žice dug oko 30 cm pa se zavjesi u otopinu. Jedno umakanje traje 1 min. Nakon svakog umakanja žica se opere u čistoj vodi (iz vodovoda) pa se obriše i otrlja vatom ili mekom krpom. Žica mora izdržati propisani broj umakanja prije nego se na njoj pokaže svijetlocrvena bakrena mrlja (površine barem 50 mm^2 ili duljine barem 40 mm) koja se trljanjem više neda odstraniti.

Propisani minimalni broj umakanja iznosi

Žica mm	1,35—1,50	1,51—2	2,01—2,7	2,71—3,2	3,21—4
Broj umakanja	3	4	5	6	7

2. Prema međunarodnim preporukama (IEC, još neslužbeno, današnje stanje)

a) Ispitivanje debljine pocinčanja

Naslaga cinka određuje se kao prema VDE. Potrebna naslaga cinka iznosi:

Nazivni promjer žice mm	Najmanja naslaga cinka g/m^2	Nazivni promjer žice mm	Najmanja naslaga cinka g/m^2	Nazivni promjer žice mm	Najmanja naslaga cinka g/m^2
1,27—1,52	183,1	2,16—2,79	228,9	4,21—4,95	274,6
1,53—1,77	198,3	2,80—3,55	244,1	4,96 i veći	289,9
1,78—2,15	213,6	3,56—4,20	259,4		

b) Ispitivanje prianjanja cinka o žicu

Žicu prikladne duljine treba namotati brzinom koja ne prelazi 15 okr./min u gustu spiralu od barem 8 zavoja oko cilindričnog trna promjera $4d$ (d - promjer žice) ako žica nije deblja od 3,555 mm, a $5d$ ako je deblja. Pošto se žica opet odmota, ne smije biti moguće skinuti golom rukom makar i dio cinka.

c) Ispitivanje jednolikosti pocinčanja (Preece-ova metoda)

Ispituje se umakanjem komada žice (unutarnji promjer posude 50 mm za žice do 2,8 mm, 75 mm za deblje žice, visina tekućine u posudi barem 100 mm) u otopinu modre galice, specif. masa otopine 1,186 kg/dm^3 pri 18 ± 2^0 C, sastavljene od 36 težinskih dijelova kristala modre galice na 100 težinskih dijelova vode. Žica se u otopini ne smije pomicati. Nakon svakog umakanja žica se opere u čistoj vodi iz vodovoda temperature 15 do 21^0 C, obriše i otrlja vatom ili mekom krpom. Žica mora izdržati slijedeći broj umakanja od 1 minute, a da ukupna površina s koje je skinut cink ne bude veća od površine kruga promjera 3,20 mm:

Žica mm	1,27—1,77	1,78—2,27	2,28—2,79	2,80—3,54	3,55 i više
Broj umakanja	2	$2^1/_2$	3	$3^1/_2$	4

3. Primjedba uz ispitivanje umakanjem

Ispitivanje umakanjem u otopinu modre galice služi jedino za kontrolu jednolikosti pocinčanja, ali nipošto nije mjerodavno za određivanje naslage cinka, jer otapanje cinka u otopini modre galice ovisi o postupku pocinčanja. Naslaga cinka (t. j. prosječna debljina pocinčanja) određuje se pouzdano jedino gravimetričkom metodom (vaganjem pocinčane žice i iste žice nakon otapanja cinka).

Svojstva materijala za žice i užeta nadzemnih vodova

(pri 20° C)

a) B a k a r, b r o n c a, a l u m i n i j, a l d r e j

S v o j s t v o	Jedinica	Bakar	Bronca I	Bronca II	Bronca III	Aluminij
Specifična masa	kg/dm^3	8,9	8,9	8,65	8,65	2,70
Prekidna čvrstoća	kp/mm^2	35—45	50—52	56—68	66—74	17—23
Ispitna čvrstoća[1])	„	40	50	60	70	17—18
Granica razvlačenja[2])	„	30—38	~ 47	~ 56	~ 65	13—17
Granica elastičnosti	„	22	~ 27	~ 32	~ 38	8—11
Izduženje kod prekida	%	8—2		~ 10	~ 40	8—2
Brinellova tvrdoća	kp/mm^2	75—95	~ 140	~ 150	~ 160	35—45
Modul elastičnosti	„	10 000—13 500	10 000—13 500	10 000—13 500	10 000—13 500	6000—6500
Linearni topl. koeficijent rastezanja	$10^{-5}/°$	1,67—1,71	1,67—1,71	1,66	1,66	2,3—2,4
Specifična toplina	kcal·kg°	0,093	~ 0,09	~ 0,09	~ 0,09	0,22
Talište	°C	1083	~ 900	~ 900	~ 900	658
Toplina taljenja	kcal/kg	43—51	~ 50	~ 50	~ 50	90
Toplinska vodljivost	cal/cm s°	0,938	~ 0,9	~ 0,9	~ 0,9	0,50—0,51
Električka vodljivost	Sm/mm^2	56	48	36	18	34,8
Specifični el. otpor	$\Omega mm^2/m$	0,01786	0,02083	0,02778	0,05556	0,02874
Topl. koef. el. otpora	1/°	0,0039	0,004	0,004	0,004	0,00403

b) A l d r e j, č e l i k

S v o j s t v o	Jedinica	Aldrej[3])	Čelik I*	Čelik II*	Čelik III*	Čelik IV*
Specifična masa	kg/dm^3	2,70	7,85	7,85	7,85	7,85
Prekidna čvrstoća	kp/mm^2	30—35	42—50	70—85	120—140	150—170
Ispitna čvrstoća[1])	„	30	40	70	120	150
Granica razvlačenja[2])	„	27—31	> 23	> 35	—	—
Granica elastičnosti	„	17—19	—	—	—	—
Izduženje kod prekida	%	9—5	~ 20	10	6	6
Brinellova tvrdoća	kp/mm^2	90—110	~ 110	~ 195	~ 350	—
Modul elastičnosti	„	6300—7200	~ 22000	~ 21 000	~ 21 000	~ 20 000
Linearni topl. koeficijent rastezanja	$10^{-5}/°$	2,3—2,35	1,23	1,1	1,1	1,1
Specifična toplina	kcal/kg°	0,22	~ 0,12	~ 0,12	~ 0,12	~ 0,12
Talište	°C	600—650	~ 1500	~ 1500	~ 1500	~ 1500
Toplina taljenja	kcal/kg	90	~ 50	~ 50	~ 50	~ 50
Toplinska vodljivost	cal/cm·s°	0,4—0,5	~ 0,14	~ 0,14	~ 0,14	~ 0,14
Električka vodljivost	Sm/mm^2	30—33	7—9[4])	~ 6,7[4])	~ 6,5[4])	~ 6,3[4])
Specifični el. otpor	$\Omega mm^2/m$	~ 0,0317	~ 0,125[4])	~ 0,15[4])	~ 0,15[4])	~ 0,16[4])
Topl. koef. el. otpora	1/°	0,0036	~ 0,005	~ 0,005	~ 0,005	~ 0,005

P r i m j e d b e: Navedene vrijednosti vrijede samo za tvrde, vučene žice, a osnivaju se na odredbama VDE odnosno DIN te na njemačkoj praksi. IEC (vidi 80 i 81) preporučuje (jedinice kao u gornjoj tablici):

1. Za aluminij: Spec. masa 2,703, spec. el. otpor maksimalna vrijednost 0,0285, računska vrijednost 0,028 264, topl. koeficijent el. otpora 0,00403, linearni topl. koeficijent rastezanja 2,3, prekidna čvrstoća (čvrstoća na zatezanje) barem 18 kp/mm^2.

2. Za aldrej i slične Al-Mg-Si legure: Spec. masa 2,70, spec. el. otpor maksimalno 0,0328, topl. koeficijent el. otpora 0,0036, linearni topl. koeficijent rastezanja 2,3, minimalna prekidna čvrstoća 30, minimalno izduženje kod prekida 4%.

3. Spec. masa 7,80, linearni toplinski koeficijent rastezanja 1,15, minimalna prekidna čvrstoća 133,6, izduženje kod prekida 4,0 do 5,0.

[1]) Žice se uzimaju za ispitivanje nakon použavanja (iz užeta).
[2]) Trajno istezanje do 0,02%.
[3]) Približno isti podaci vrijede i za almelek i slične Al-Mg-Si legure.
[4]) Za istosmjernu struju. Za izmjeničnu struju vidi 201 i VDE 0295.
* Žice moraju biti pocinčane prema VDE 0210 dodatak. Vidi i 204.

Svojstva materijala za žice i užeta nadzemnih vodova (nastavak)

c) Računske vrijednosti s kojima se može računati pri proračunu provjesa

Prema »Tehničkim propisima za gradnju nadzemnih vodova jake struje« (Službeni list FNRJ br. 24/60)*

Materijal	Oznaka[1])	Spec. masa	Toplinski koeficijent rastezanja	Modul elastičnosti	Zatezna čvrstoća	
					trajna[2])	ispitna
		kg/dm^3	$1/°C$	kp/mm^2	kp/mm^2	kp/mm^2
Bakar	Cu	8,9	$17{,}0 \cdot 10^{-6}$	13000	30[3])	40[3])
Bronca I	Bc I	8,9	$17{,}0 \cdot 10^{-6}$	13000	40	50
Bronca II	Bc II	8,65	$16{,}6 \cdot 10^{-6}$	13000	50	60
Bronca III	Bc III	8,65	$16{,}6 \cdot 10^{-6}$	13000	62	70
Čelik I, pocinčan	Č I	7,8	$12{,}3 \cdot 10^{-6}$	19200	32	40
Čelik II, „	Č II	7,8	$11{,}0 \cdot 10^{-6}$	19600	56	70
Čelik III, „	Č III	7,8	$11{,}0 \cdot 10^{-6}$	20000	90	120
Čelik IV, „	Č IV	7,8	$11{,}0 \cdot 10^{-6}$	20000	110	150
Aluminij	Al	2,7	$23{,}0 \cdot 10^{-6}$	5600	12	17do18[4])
Aldrej[5])	Ald	2,7	$23{,}0 \cdot 10^{-6}$	6000	24	30
Alučel 6:1[6])	Ač 6:1	3,45	$19{,}5 \cdot 10^{-6}$	7500	21[7])	[8])
Alučel 4,3:1[6])	Ač 4,3:1	3,65	$17{,}6 \cdot 10^{-6}$	7900	25[7])	[8])
Alučel 3:1[6])	Ač 3:1	3,98	$16{,}6 \cdot 10^{-6}$	8700	28[7])	[8])

* Jednake vrijednosti sadrže i propisi VDE 0210/5.62 (»Propisi za gradnju nadzemnih vodova jake struje«).

1) Ove oznake nisu sadržane u jugoslavenskim propisima.

2) Pojam trajne zatezne čvrstoće ne sadrže jugoslavenski propisi. Navedene vrijednosti propisane su kao izuzetno dozvoljeno naprezanje.

3) Odnosi se na tvrdi, vučeni bakar. Za polutvrdi bakar vrijednosti su 24 odn. 30.

4) Za žice tanje od 2,5 mm^2 18 kp/mm^2, a za žice od 2,5 mm^2 i više 17 kp/mm^2 (prema DIN 48 200).

5) Isti podaci vrijede i za almelec. (Vidi na primjer francusku normu NF C 78.).

6) Vrijedi za alučelična užeta sa čeličnom jezgrom ispitne čvrstoće 120 kp/mm^2. Kako se izračunavaju računske vrijednosti za alučelična užeta sa jezgrom od druge vrsti čelika ili za bilo koji omjer presjeka, vidi pod d) na narednoj strani.

7) VDE 0210 ne daje nikakvu vrijednost već navodi da za alučelična užeta vrijedi kao trajna zatezna čvrstoća 0,9-struki zbroj trajnih zateznih čvrstoća pojedinih materijala uzevši u obzir omjer presjeka čelika prema aluminiju.

8) Ni jugoslavenski propisi ni VDE ne daju nikakve vrijednosti. Prema propisima VDE 0210 ispitna čvrstoća užeta = 0,9 × aritmetička sredina zbroja ispitnih tereta pojedinih žica uzevši u obzir omjer presjeka Al : Č.

Svojstva materijala za žice i užeta nadzemnih vodova (nastavak)

d) Izračunavanje računskih vrijednosti za alučelična užeta

Normalno se alučelična užeta prema DIN izrađuju s čeličnom jezgrom ispitne čvrstoće 120 kp/mm². Ako je jezgra od druge vrsti čelika, mogu se računske vrijednosti izračunati ovako:

$$E = \frac{E_{Al}S_{Al} + E_{Fe}S_{Fe}}{S} \qquad \alpha = \frac{\alpha_{Al}S_{Al}E_{Al} + \alpha_{Fe}S_{Fe}E_{Fe}}{SE}$$

$$\sigma_{max} = \sigma_{Al\,max}\frac{E}{E_{Al}} + (t - t_1)(\alpha_{Al} - \alpha)E$$

E-modul elastičnosti [kp/mm²], S-izradbeni presjek [mm²], α-koeficijent restezanja [1/°] σ_{max}-najveće dozvoljeno naprezanje alučela [kp/mm²], $\sigma_{Al\,max}$-najveće dozvoljeno naprezanje žica od aluminija, t-temperatura [°C] pri najvećem naprezanju (obično $t = -20$°C), t_1-temperatura radionice pri izradbi alučel-užeta (obično se uzima $t_1 = 15$°C). Vrijednosti bez indeksa odnose se na cijelo uže.

Analogno se računa za aldrejska užeta sa čeličnom jezgrom i za bakrena užeta sa čeličnom jezgrom. Ove vrsti užeta nisu se kod nas dosada upotrebljavale.

Strujna opteretivost normalnih užeta za nadzemne vodove **206**

Najveća dozvoljena trajna struja za povišenje temperature 40° C

Homogeni vodiči				Alučel-vodiči			
mm²	bakar A	alumij A	aldrej A	mm²	A	mm²	A
16	115	92	88	16/2,5	90		
25	151	121	115	25/4	125		
35	174	149	142	35/6	145		
50	231	185	176	50/8	170		
70	282	226	215	70/12	235		
95	357	283	269	95/15	290		
120	411	329	313	120/21	345	125/29	355
150	477	382	363	150/25	400	170/40	440
185	544	435	414	185/32	455		
210				210/36	490	210/50	505
240	641	513	479	240/40	530		
300	747	598	568	300/50	615	310/100	630
						340/110	680

Prema P. Behrens dr., Aluminium-Freileitungen, 7. izdanje, Düsselfodorf 1954.

Gornja tablica odnosi se na temperaturu okoline (zraka) 40° C, tako da bi uz navedene struje temperatura užeta iznosila 80° C. Ako je temperatura okoline niža od 40° C, mogu se vodiči (privremeno!) jače opteretiti. Strujna opteretivost pri nižim temperaturama dobije se tako da se vrijednosti u gornjoj tablici pomnože s korekcionim faktorom:

Temperatura zraka	30	20	10	0 °C
Korekcioni faktor	1,12	1,22	1,30	1,36

Vrijednosti koje sadrži gornja tablica mogu se smatrati opreznim vrijednostima jer pretpostavljaju gotovo posve mirni zrak i maksimalnu temperaturu 80° C. U SSSR-u, npr. dozvoljava se maksimalna temperatura užeta 90° C te strujna opteretivost znosi 12 do 30% (već prema vrsti i presjeku užeta) više nego što je navedeno u gornjoj tablici. (Vidi Elektrotehničeskij spravočnik, 2. izdanje, str. 326.)

207

Najmanji dozvoljeni presjeci vodiča za nadzemne vodove
u mm², s obzirom na mehaničku sigurnost vodova

	Dio trase voda	Materijal vodiča					
		bakar	bronca	aluminij	aldrej	čelik	alučel 6:1
1	Vodovi visokog i niskog napona na normalnoj trasi i u svim ostalim slučajevima nespomenutim u tačkama 2 do 7	10	10	25	16	10	16
2	Kao 1, samo vodovi niskog napona do 45 m raspona	6	6	16	10	6	16
3	Vodovi visokog i niskog napona na mjestima križanja sa željezničkim prugama	16	16	35	25	16	25
4	Vodovi visokog napona na mjestima križanja sa PTT-vodovima	16	16	25	25	25	25
5	Vodovi do 250 V prema zemlji na mjestima križanja sa PTT-vodovima	10	10	25	16	10	16
6	Kućni priključci do 250 V prema zemlji do 20 m raspona i instalacije na otvorenom do istog napona i raspona	4[1])	4	16	10	6	16
7	Kućni priključci (izolirani!) do 250 V prema zemlji na mjestima križanja sa PTT-vodovima	6	6	16*	10*	6*	16*

1. Podloge za gornju tablicu

a) »Tehnički propisi za gradnju nadzemnih vodova jake struje« (prilog Služb. lista FNRJ br. 24/60).

b) »Tehnički propisi za građenje električnih vodova na mjestima ukrštanja sa željezničkim prugama« (prilog Služb. lista FNRJ br. 68/50).

c) »Tehnički propisi o zaštiti vodova elektroveza od električnih vodova«, Savjet za saobraćaj i veze FNRJ, br. 1461 od 25. IX 1951. (Izdano u posebnoj publikaciji Gl. direkcije PTT »Zaštita vodova elektroveza od električnih vodova«, Beograd 1952.)

2. Upotreba žica od aluminija i njegovih legura nije dopuštena. Ti se materijali smiju upotrebljavati jedino kao užad. Upotreba žica od ostalih materijala dopuštena je ako im presjek ne prelazi 16 mm² i ako se montiraju u rasponima manjim od 80 m. (Prema tome žice su dopuštene i za vodove visokog napona, ali se u nas za takve vodove ne upotrebljavaju.)

3. Najmanji presjek vodiča od ostalih materijala utvrđen je time što za vodove niskog napona i raspone do 45 m ispitni teret provodnika ne smije biti manji od 180 kp, a za sve ostale vodove ne manji od 380 kp.

---

* Po analogiji. »Tehnički propisi o zaštiti vodova elektroveza od električnih vodova« (IX. 1951.) ne daju nikakve podatke za ove materijale.

[1]) Prema JUS N.B2.702/1952 (Elektr. instalacije — Postavljanje elektr. provodnika).

Dodatni tereti leda, snijega i inja na nadzemnim vodovima
prema Jugoslavenskim Tehničkim propisima za gradnju nadzemnih vodova jake struje (Služb. list br. 24/60)

a) Smatra se da dodatni teret djeluje vertikalno prema dolje i pribraja se težini vodiča odnosno zaštitnog užeta.

b) Kao normalni dodatni teret uzima se najveći dodatni teret koji se na odnosnom mjestu pojavljuje prosječno svakih 5 godina, ali se ne uzima težina manja od

$$g = 0{,}18\ \sqrt{d}\ \text{kg/m}$$

gdje je d promjer provodnika odnosno zaštitnog užeta u mm. Za ocjenu dodatnog tereta s kojim će se računati stvarni vod služit će prikupljeni podaci hidrometeorološke službe, iskustva na postojećim dalekovodima i PTT-linijama uz projektiranu trasu, obavještenja mještana, oštećenja na drveću i slično. U pravilu treba računati s ovim vrijednostima za normalni dodatni teret:

1,0 g 1,6 g 2,5 g 4,0 g

c) Kao izuzetni dodatni teret uzima se najveći dodatni teret koji se na odnosnom mjestu pojavljuje prosječno svakih 20 godina, ali se ne uzima manje od dvostruke težine normalnog dodatnog tereta prema b).

d) Ako je na nekom vodu ili na nekom dijelu njegove trase rezultanta od pritiska vjetra i težine nezaleđenog vodiča odnosno zaštitnog užeta veća od težina vodiča odnosno zaštitnog užeta sa normalnim dodatnim teretom, treba računati najmanje sa vrijednosti te rezultante kao dodatnim teretom.

Izračunate težine dodatnog tereta

Presjek vodiča	Homogeni vodiči (bakar, aluminij, aldrej, bronca, čelik itd)				Alučelična užeta s omjerom presjeka 5,7 do 6			
	1,0g	1,6g	2,5g	4,0g	1,0g	1,6g	2,5g	4,0g
mm²	kg/m	kg/m	kg/m	kg/m	kg/m	kg/m	kg/m	kg/m
6	0,299	0,478	0,747	1,20	—	—	—	—
10	0,364	0,582	0,910	1,46	—	—	—	—
16	0,407	0,651	1,02	1,63	0,418	0,669	1,05	1,67
25	0,452	0,724	1,13	1,81	0,467	0,748	1,17	1,87
35	0,493	0,789	1,13	1,97	0,512	0,820	1,28	2,05
50	0,540	0,801	1,35	2,16	0,558	0,893	1,39	2,23
70	0,583	0,933	1,46	2,33	0,613	0,981	1,53	2,45
95	0,636	1,02	1,59	2,54	0,659	1,05	1,65	2,64
120	0,673	1,08	1,68	2,69	0,713	1,14	1,78	2,85
150	0,715	1,14	1,79	2,86	0,748	1,20	1,87	2,99
185	0,753	1,20	1,88	3,01	0,788	1,26	1,97	3,15
210	—	—	—	—	0,815	1,30	2,04	3,26
240	0,811	1,30	2,03	3,24	0,838	1,34	2,10	3,35
300	0,854	1,37	2,14	3,42	0,886	1,42	2,22	3,45

Da se dobije ukupna težina zaleđenog vodiča, treba težini vodiča prema tablici 199 odn. 202 dodati teret prema gornjoj tablici.

209 Djelovanje vjetra na vodove

prema Tehničkim propisima za gradnju nadzemnih vodova jake struje, Služb. list FNRJ br. 24/60

Sila djelovanja vjetra:

$$F = cpA \cdot \sin\alpha \qquad [\text{kp, 1, kp/m}^2, \text{m}^2, 1]$$

A — površina na koju vjetar djeluje ne uzimajući u obzir povećanje zbog zaleđivanja (za cilindrične objekte vertikalna projekcija te površine, a za rešetkaste stupove samo površina rešetkaste stijene okrenute prema vjetru), p — tlak vjetra (tj. pritisak na jedinicu površine), c — koeficijent djelovanja vjetra koji uzima u obzir djelovanje vjetra na pritisak i usisavanje, djelovanje vjetra na zadnju stranu rešetkaste konstrukcije kao i smanjenje djelovanja vjetra na vodiče i zaštitnu užad s razloga što se maksimalni tlak nikad ne javlja istodobno, duž čitavog napona).

Tlak vjetra p uzima se:

a) Na sve dijelove vodova nižih od 15 m nad tlom . . . . . 50 kp/m²

b) Na vodove, kojih visina prelazi 15 m nad tlom

— za dijelove u zoni između 0 i 30 m nad tlom . . . . . 60 kp/m²

— za dijelove u zoni između 30 i 60 m nad tlom . . . . . 70 „

— za dijelove u zoni iznad 60 m nad tlom . . . . 80 „

Za tlak vjetra na vodiče odnosno zaštitnu užad mjerodavna je njihova visina ovjesišta u stezaljci na odnosnom stupu.

Za područja s izuzetno velikim brzinama vjetra (područje bure, košave, vardarca i veće nadmorske visine) treba povećati tlak vjetra iznad vrijednosti navedenih gore pod a) i b). Tlak vjetra treba tada izračunati po formuli

$$p = v^2/16 \qquad [\text{kp/m}^2, \text{m/s}]$$

gdje je v maksimalna brzina vjetra koja se na tom mjestu pojavljuje prosječno svakih 5 godina. Nikad se ipak ne uzima tlak vjetra manji od onoga koji je naveden gore pod a) i b).

Koeficijent c iznosi za pojedine dijelove voda:

a) Stupovi četvorokutnog presjeka 1,4

b) Stupovi šestorokutnog ili osmorokutnog presjeka 1,0

c) Stupovi okruglog presjeka 0,7

d) Dvostruki stupovi četvorokutnog presjeka za vjetar u smjeru ravnine koja prolazi kroz obje osi stupova (ako je razmak osi l manji od dvostruke strane a presjeka: $l < 2a$) 2,0

e) Dvostruki stupovi okruglog presjeka za vjetar u smjeru ravnine koja prolazi kroz obje osi stupova (ako je razmak osi l manji od dvostrukog promjera: d: $l < 2d$) 1,0

f) Rešetkasti stupovi od profilnog čelika u ravnini 1,4

g) Rešetkasti stupovi od cijevi u ravnini 1,1

h) Četvorokutni rešetkasti stupovi od profilnog čelika 2,6

i) Četvorokutni rešetkasti stupovi od cijevi 2,0

j) Provodnici i zaštitna užeta 1,0

Prijedlog Zajednice jugoslavenske elektroprivrede za promjene propisa o djelovanju vjetra na vodove

Tlak vjetra izračunat po formuli $P = v^2/16$ (kp/m^2)* primjenjuje se za osnovnu visinsku zonu od 0 do 40 m nad tlom i ne može biti manji od 60 kp/m^2. Dobivene vrijednosti za P treba povećati do prve od ovih vrijednosti tlaka vjetra:

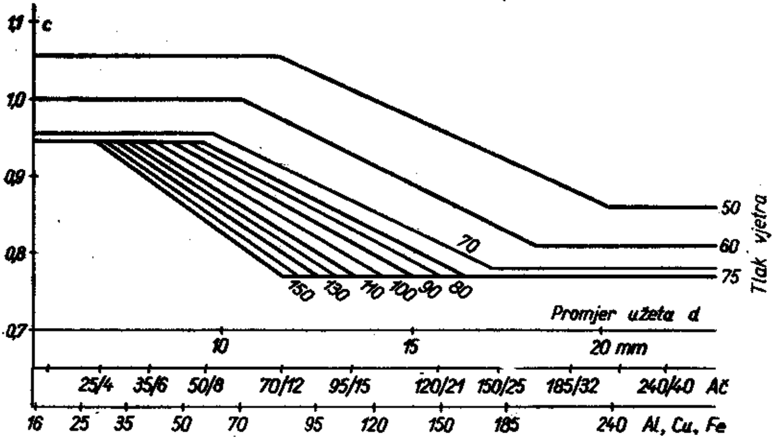
60 75 90 110 130 kp/m^2

Tlak vjetra na dijelove voda u zoni između 40 i 80 m nad zemljom treba povećati, a tlak vjetra na vodove čija visina ne prelazi 15 m nad zemljom može se smanjiti, sve prema ovoj tablici:

Visinska zona voda	Tlak vjetra u kp/m^2				
Osnovna visinska zona od 0 do 40 m nad tlom	60	75	90	110	130
Dijelovi voda u zoni između 40 i 80 m nad tlom	75	90	110	130	150
Vodovi čija visina ne prelazi 15 m nad tlom	50	60	75	90	110

Za tlak vjetra na vodiče odnosno zaštitnu užad mjerodavna je njihova visina ovjesišta u stezaljci na odnosnom stupu.

Koeficijent djelovanja vjetra c za trougaone rešetkaste stupove od profilnog čelika iznosi 2,8. Koeficijent c za vodiče i zaštitnu užad dobije se iz ovog dijagrama (on dakle ne iznosi 1)**:



* v — maksimalna brzina vjetra u m/s koja se na tom mjestu pojavljuje prosječno svakih 5 godina. Tu brzinu vjetra treba po mogućnosti odrediti na temelju mjerenja primjenjujući prikladnu statističku obradu mjernih podataka. U pomanjkanju dovoljnog broja mjernih podataka treba brzinu vjetra procijeniti koristeći raspoložive podatke i informacije sa očevida na terenu.

** Izrađeno prema sovjetskom referatu broj 25 na konferenciji CIGRÉ 1960. godine. Tlak vjetra naveden je u kp/m^2.

210

Skala jakosti vjetra po Beaufortu

Stupanj vjetra	Brzina vjetra		Naziv vjetra	Ocjena brzine vjetra na kopnu i na moru bez pribora
	m/s	km/h		
0	0 — 0,2	< 1	Tišina	Dim se diže vertikalno; površina vode apsolutno glatka.
1	0,3 — 1,5	1 — 5	Lahor	Smjer vjetra zamjećuje se po kretanju dima, ali ne vjetruljom; voda je posve mirna.
2	1,6 — 3,3	6 — 11	Povjetarac	Vjetar se osjeća na licu; lišće šušti; normalna vjetrulja se pokreće.
3	3,4 — 5,4	12 — 19	Vjetrić	Miče se lišće i tanke grančice drveća; zastavica se otklanja; mali valići na vodi.
4	5,5 — 7,9	20 — 28	Umjereni vjetar	Podiže se prašina i listovi papira; miču se grančice drveća; glatki valovi s mjestimičnom pjenom.
5	8,0 — 10,7	29 — 38	Umjereno svježi vjetar	Grmići s lišćem počinju se njihati; pjena se vidi na svakom valu.
6	10,8 — 13,8	39 — 49	Svježi vjetar	Njišu se deblje grane drveća; zuje telefonske žice; upotreba kišobrana otežana; pjena na valovima je dugotrajnija (5–10 s); s krune valova otkida se vodena prašina.
7	13,9 — 17,1	50 — 61	Jaki vjetar	Njišu se debla drveća; hodanje protiv vjetra je tegobno; vjetar otkida krune valova.
8	17,2 — 20,7	62 — 74	Vrlo jaki vjetar	Kidaju se grane; hodanje protiv vjetra općenito je nemoguće; more je jako uzburkano.
9	20,8 — 24,4	75 — 88	Olujni vjetar	Vjetar prouzrokuje manja oštećenja u naseobinama (kida žljebove, ruši dimnjake, skida crepove); more je vrlo jako uzburkano.
10	24,5 — 28,4	89 — 102	Vihor	Opaža se rijetko u unutrašnjosti kopna; vjetar čupa drveće s korijenjem; znatna oštećenja u naseobinama.
11	28,5 — 32,6	103 — 117	Orkan	Opaža se vrlo rijetko; obimna pustošenja.
12	32,7 — 36,9	118 — 133	Uragan	

Prema publikaciji br. 78 Internacionalne meteorološke organizacije (Organisation Météorologique Internationale): Guide des méthodes internationales concernant les instruments et les observations météorologiques, Lausanne 1950. Opažanja na moru nisu uzeta iz te publikacije već iz knjige Alekseev i dr., Elektrotehničeskij spravočnik, 2. izdanje (Gosenergoizdat 1946).

Pazi! Brzina vjetra navedena u gornjoj tablici za pojedine stupnjeve vjetra po Beaufortu je srednja brzina vjetra kroz izvjesno dulje vrijeme pa prema tome nije mjerodavna za proračun vodova gdje treba računati sa maksimalnim udarima vjetra. Vidi npr. B. Markovčić, O određivanju sile vjetra na nadzemne vodove, referat Jugosl. CIGRÉ 1962. (»Energija« 1962., broj 7/8, str. 229).

Raspored vodiča i zaštitnih užeta

prema jugoslavenskim tehničkim propisima iz 1960. god.

Sigurnosni razmak (u centimetrima) u svim pogonskim uvjetima (uzevši u obzir vjetar i dodatni teret) mora iznositi barem 20 cm, ali mora biti jednak ili veći od ovih razmaka:

a) između dijelova pod naponom . . . . $0{,}7\,U_n$

b) između dijelova pod naponom i uzemljenih dijelova

— kad je izolatorski lanac otklonjen vjetrom . . . . . $0{,}5\,U_n$

— u svim ostalim slučajevima . . . . $0{,}7\,U_n$

gdje je U_n nazivni napon voda u kV. Smatra se da je ovim zahtjevima udovoljeno ako razmak D između vodiča, odnosno između vodiča i zaštitnog užeta, u prilikama bez vjetra u sredini raspona iznosi barem

$$D = k\sqrt{f+l} + 0{,}7\,U_n \qquad [\text{cm, cm, cm, kV}]$$

Koeficijent $k = 2{,}5 + 0{,}1\,\alpha$ gdje je α^0 otklon nezaleđenog vodiča odn. zaštitnog užeta zbog vjetra koji se računa sa 50% maksimalnog tlaka. f — provjes pri $+40^0$ C, l — duljina izolatorskog lanca od ovjesišta do vodiča (za potporne izolatore i zaštitna užeta $l = 0$), U_n — nazivni napon voda.

Ako se razmatra razmak između dva različita užeta, treba izračunati D za oba užeta. Mjerodavna je veća vrijednost.

Ako su vodiči odnosno zaštitna užeta raspoređeni u različnim visinama (kosi raspored vodiča), razmak izračunat prema gornjoj formuli dovoljan je jedino uz uvjet da je ujedno horizontalni razmak između vodiča odnosno između vodiča i zaštitnog užeta jednak barem sigurnosnom razmaku. Taj uvjet se traži samo za vodove nazivnog napona iznad 20 kV.

Prijedlog za promjenu koeficijenta k

a) Za horizontalni raspored vodiča: $k = 4 + /25$ ali barem $k = 6{,}0$

b) Za kosi raspored vodiča: $k = 2 + /10$ ali barem $k = 7{,}0$

c) Za vertikalni raspored vodiča: $k = 4 + /5$ ali barem $k = 14{,}0$

Ad a): Ako raspored nije horizontalan ali je horizontalna udaljenost između koso raspoređenih vodiča odn. vodiča i zaštitnog užeta jednaka ili veća od ovako izračunate vrijednosti smatra se također da je udovoljeno postavljenom zahtjevu. — Ad b): Za vodove iznad 20 kV isti uvjet kao gore (prema sadašnjim propisima). — Ad c): Ovoliki razmak potreban je samo za vodove nazivnog napona iznad 20 kV, i to i onda ako vodiči nisu posve vertikalno raspoređeni, ali je horizontalna udaljenost manja od sigurnosnog razmaka.

Izračunate vrijednosti kuta otklona α

Težina izolatorskih lanaca ni pritisak vjetra na lance nisu uzeti u obzir

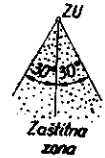
Materijal vodiča	Tlak vjetra kp/m²*	Kut otklona α u stupnjevima za presjek** u mm²									
		35	50	70	95	120	150	185	210	240	300
Aluminij	50	63	59	55	50	47	44	40	—	37	34
	60	67	63	60	55	52	49	45	—	42	39
	75	71	68	65	61	58	55	52	—	49	45
	90	74	72	69	65	63	60	57	—	54	51
Alučelik	50	56	51	47	42	36	34	32	31	29	27
	60	60	56	52	47	43	40	37	35	34	31
	75	65	62	58	54	49	47	44	41	40	37
	90	69	66	62	59	54	52	49	47	45	42

* Kut otklona α računat je, prema propisima, za 50% ovog maksimalnog tlaka vjetra (dakle za 25, 30, 37,5, 45 kp/m²).

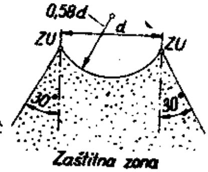
** Za aluče1ična užeta ovo je presjek aluminijskog plašta užeta s omjerom presjeka Al : Če = 6 : 1.

212 Zaštitna zona

Zaštitna zona je prostor ispod zaštitnog užeta za koji propisi smatraju da su u njemu vodiči dovoljno zaštićeni od utjecaja atmosferskih prenapona. Vodiči se u pravilu moraju nalaziti unutar zaštitne zone duž cijelog voda i pri svim temperaturama od 0 do 40° C.



Slika 1



Slika 2

Jugoslavenski Tehnički propisi za gradnju nadzemnih vodova jake struje (Službeni list FNRJ br. 24/60) definiraju zaštitnu zonu za jedno zaštitno uže prema slici 1, a za dva zaštitna užeta prema slici 2.

213 Dozvoljena naprezanja vodiča nadzemnih vodova

prema jugoslavenskim Tehničkim propisima

1. Najveće (maksimalno) radno naprezanje, tj. odabrana računska vrijednost koju će horizontalna komponenta naprezanja na zatezanje postići pri —5° C uz normalni dodatni teret ili pri —20° C bez dodatnog tereta, ne smije prekoračiti vrijednost normalno dozvoljenog naprezanja.

2. Naprezanje na zatezanje u ovjesištu ne smije pri —5° C uz izuzetni dodatni teret prekoračiti izuzetno dozvoljeno naprezanje.

3. Normalno i izuzetno dozvoljeno naprezanje

1	2	3	4	5
Materijal vodiča	Ispitna čvrstoća kp/mm²	Dozvoljeno naprezanje u kp/mm²		
		normalno		izuzetno
		žica	uže	žica i uže
Bakar tvrdi	40	12	19	30
Bakar polutvrdi	30	10	12	24
Bronca I	50	14	24	40
Bronca II	60	18	30	50
Bronca III	70	22	35	62
Čelik I	40	12	16	32
Čelik II	70	20	28	56
Čelik III	120	30	45	90
Čelik IV	150	40	55	110
Aluminij	17 do 18	—	7	12
Aldrej	30	—	12	24
Alučel 6 : 1	Al 17 do 18 Če 120	—	10	21
Alučel 4 : 1		—	11	25
Alučel 3 : 1		—	12	28

Za ostale materijale treba uzeti

a) kao normalno dozvoljeno naprezanje
   — za žicu 25% od ispitne čvrstoće
   — za uže 40% od ispitne čvrstoće

b) kao izuzetno dozvoljeno naprezanje
   — za žicu i uže 75% od ispitne čvrstoće

4. Ako postoji opasnost od zamora materijala zbog vibracije, treba to spriječiti prikladnim mjerama (postavljanjem prigušnika ili smanjenjem naprezanja).

5. Ako raspon nije veći od graničnog raspona te ako normalno dozvoljeno naprezanje ne prelazi vrijednosti iz tablice lijevo uz uvjete pod 1), ne treba provjeravati uvjet pod 2) jer izuzetno dozvoljeno naprezanje tada nije nikad prekoračeno.

6. Ako nadzemni vod prelazi preko autoputa, gradske ulice, gusto naseljenog mjesta, tramvajske ili trolejbusne linije, plovne rijeke ili kanala te sportskog igrališta, normalno i izuzetno dozvoljeno naprezanje smanjuje se na 75% vrijednosti iz tablice lijevo pod 3).

7. Ako nadzemni vod prelazi preko željezničke pruge, normalno dozvoljeno naprezanje smanjuje se na 50% od vrijednosti navedenih u tablici pod 3. Osim toga treba provesti kontrolu da uz četvorostruki dodatni teret naprezanje u ovjesištu ne bude veće od izuzetno dozvoljenog naprezanja prema tablici pod 3. Taj je uvjet ispunjen do graničnih križišnih raspona navedenih u tablici pod 3).

8. Ako nadzemni vod prelazi preko glavnog PTT-voda,* normalno dozvoljeno naprezanje ne smije prijeći $^1/_3$ ispitne čvrstoće (stupac 2 u tablici pod 3). Ako nadzemni vod prelazi preko bilo kojeg drugog PTT-voda, normalno dozvoljeno naprezanje ne smije prijeći 50% ispitne čvrstoće. Ako je napon nadzemnog voda viši od 250 V, tada treba u oba gornja slučaja provesti kontrolu da uz četvorostruki dodatni teret naprezanje u ovjesištu ne bude veće od izuzetno dozvoljenog naprezanja prema tablici pod 3.

9. Naprezanje u ovjesištu nešto je veće od same horizontalne komponente. Propisi VDE 0210/5.62 propisuju da naprezanje u ovjesištu ne smije uz normalni dodatni teret prekoračiti normalno dozvoljeno naprezanje za više od 5%. (Na ravnom terenu ovo ne treba kontrolirati ako provjes ne prelazi 4% od raspona). Jugoslavenski propisi ne postavljaju ovaj uvjet.

* Glavnim PTT-vodovima nazivaju se ovdje: a) vodovi za međunarodni promet; b) vodovi koji spajaju Beograd s glavnim gradovima republika, autonomnih pokrajina i autonomnih oblasti ili ove gradove međusobno; vodovi za koje nadležni organ to odredi svojim posebnim rješenjem.

214 ODREĐIVANJE PROVJESA

Formule za proračun provjesa i izradbu tablica provjesa

1. O z n a k e

σ — naprezanje vodiča na vlak u kp/mm², S — stvarni presjek vodiča u mm², G — težina vodiča po jedinici duljine u kp/m, $\gamma = \frac{G}{S}$ — specifična težina vodiča u kp/m-mm², a — raspon u m, E — modul elastičnosti u kp/mm², α — toplinski koeficijent rastezanja 1/°C, t — temperatura vodiča u °C, f — provjes u m. Poredbene (polazne) veličine obilježene su indeksom $_0$.

2. P r o v j e s n a h o r i z o n t a l n o m t e r e n u

Krivulja provjesa je lančanica određena funkcijom $y = \cosh (x/p)$, gdje je parametar $p = \sigma/\gamma$. Ova se funkcija dade razviti u red:

$$y = \cosh\left(\frac{x}{p}\right) = p\left[1 + \frac{1}{2!}\left(\frac{x}{p}\right)^2 + \frac{1}{4!}\left(\frac{x}{p}\right)^4 + \frac{1}{6!}\left(\frac{x}{p}\right)^6 + \cdots\right] \tag{1}$$

Zanemarenjem članova reda od trećeg odnosno četvrtog nadalje dobiju se približne formule koje su dosta tačne za praktičnu upotrebu osim ako su rasponi vrlo veliki. Za najveći provjes dobijemo:

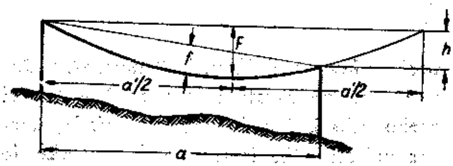
za raspon do cca 500 m: $f = \frac{\gamma a^2}{8\sigma}$ (2)

za raspon od cca 500 do cca 1200 m: $f = \frac{\gamma a^2}{8\sigma} + \frac{\gamma^3 a^4}{384\sigma^3}$ (3)

Provjes u bilo kojoj tački iznosi:

$f_a = f\left[1 - 4\left(\frac{x}{a}\right)^2\right]$ x — udaljenost od sredine polja u metrima

2a. P r o v j e s i n a j n i ž a t a č k a n a k o s o m t e r e n u (približno)



$f = \frac{\gamma b^2}{8\sigma}$; $F = f\left(1 + \frac{h}{4f}\right)^2$

$\frac{a'}{2} = \frac{1}{2}a\left(1 + \frac{h}{4f}\right)$ b - razmak potporišta

Jedinice kao prije.

3. J e d n a d ž b a s t a n j a (za proračun naprezanja vodiča)

$$\sigma^2\left[\sigma - \sigma_0 + \frac{8}{3}E\left(\frac{f_0}{a}\right)^2 + E\alpha(t - t_0)\right] = \frac{8}{3}E\left(\frac{\gamma a}{8}\right)^2 \tag{4}$$

Najveće radno naprezanje ($\sigma_0 = \sigma_m$) nastaje pri —20° C bez dodatnog tereta ($\gamma_0 = \gamma$) ako je raspon manji od kritičnog, a ako je veći, onda pri —5° C sa dodatnim teretom ($\gamma_0 = \gamma_d = G_d/S$). Ova se jednadžba 3. stupnja obično rješava grafički ili iteracijom, tj. uvrštavanjem vrijednosti za σ i pokušavanjem da li zadovoljava jednadžbu.

4. K r i t i č n i r a s p o n (vidi i narednu stranu):

$$a_k = 6\sigma_m\sqrt{\frac{10\alpha}{\gamma_d^2 - \gamma^2}} = a_0\sigma_m \quad \text{metara} \tag{5}$$

5. Najveći provjes i kritična temperatura

Najvećim provjesom (koji prema jugoslavenskim »Tehničkim propisima za gradnju nadzemnih vodova jake struje« određuje visinu zavješenja vodiča, a prema tome i visinu stupova) smatra se veći od provjesa pri $+40^0$ C bez dodatnog tereta ili pri -5^0 C sa dodatnim teretom. Koji je provjes veći, pokazuje kritična temperatura:

$$t_k = \frac{\sigma_m}{E\alpha}\left(1 - \frac{\gamma}{\gamma_d}\right) - 5 = c\sigma_m \ {}^0\text{C} \tag{6}$$

Pri kritičnoj temperaturi provjes vodiča bez dodatnog tereta jednak je provjesu sa dodatnim teretom pri -5^0 C. Prema tome, ako je $t_k < 40$, najveći provjes nastaje pri $+40^0$ C bez dodatnog tereta, a ako je $t_k > 40$, tada je najveći provjes pri -5^0 C uz dodatni teret.

6. Primjer

Odredi provjes užeta Ač 150/25 pri $+40^0$ C, ako je $a = 200$ m, a $\sigma_m = 8$ kp/mm².

$\gamma = 3{,}52 \cdot 10^{-3}$ kp/m · mm²	(prema tablici 202a)
$\gamma_d = 7{,}81 \cdot 10^{-3}$ kp/m · mm²	(„ „ 202a i 208)
$E = 7500$ kp/mm²	(„ „ 205b)
$\alpha = 1{,}95 \cdot 10^{-5}$ po ⁰C	(„ „ 205b)

$$a_k = 6 \cdot 8\sqrt{\frac{10 \cdot 1{,}95 \cdot 10}{7{,}81^2 - 3{,}52^2}} = 96 \text{ metara}$$

$a_k > a$, pa prema tome $\gamma_0 = \gamma_d$

$$f_0 = \frac{\gamma_0 a^2}{8\sigma_0} = \frac{7{,}81 \cdot 10^{-3} \cdot 200^2}{8 \cdot 8} = 4{,}89 \text{ m}$$

$$\sigma^2\left[\sigma - 8 + \frac{8}{3} \cdot 7500\left(\frac{4{,}89}{200}\right)^2 + 7500 \cdot 1{,}95 \cdot 10^{-5} \cdot 45\right]$$

$$= \frac{8}{3} \cdot 7500\left(\frac{3{,}25 \cdot 10^{-3} \cdot 200}{8}\right)^2$$

$$\sigma^2[\sigma + 10{,}52] = 155; \qquad \sigma = 3{,}35 \text{ kp/mm}^2$$

$$f = \frac{3{,}52 \cdot 10^{-3} \cdot 200^2}{8 \cdot 3{,}35} = 5{,}25 \text{ m}$$

7. Duljina užeta u jednom polju:

$$l = a + \frac{8f^2}{3a}$$

215 Kritični rasponi i kritične temperature

Nazivni presjek mm²	Bakar i bronca I		Bc II i III	Aluminij		Aldrej	Alučel 6 : 1		Čelik
	19*	16	30	7	5	12	10	8	28
1. Kritični raspon a_k u metrima									
10	33	28	52	—	—	—	—	—	—
16	45	38	70	23	16	39	31	25	54
25	57	48	90	30	21	51	42	33	70
35	69	58	109	38	27	65	53	42	85
50	84	71	131	48	34	81	65	52	103
70	97	81	153	57	41	97	78	62	120
95	114	96	181	70	50	119	92	74	142
120	127	107	201	79	57	136	109	87	159
150	142	119	224	90	64	154	121	97	177
185	156	131	246	101	72	174	135	108	195
210	—	—	—	—	—	—	144	115	—
240	176	149	280	118	84	202	152	122	222
300	194	163	307	131	94	225	170	136	243
2. Kritična temperatura t_k u °C									
10	64	53	107	—	—	—	—	—	—
16	59	49	99	44	30	74	55	43	94
25	53	44	90	42	29	71	52	40	86
35	48	40	82	41	28	68	49	38	79
50	42	35	72	39	26	65	46	36	71
70	38	31	65	37	25	62	43	33	64
95	32	26	56	34	23	57	39	30	56
120	29	23	50	32	21	54	35	27	50
150	25	21	45	30	20	51	33	25	45
185	22	18	40	28	18	48	30	23	40
210	—	—	—	—	—	—	29	22	—
240	18	15	34	25	16	43	27	21	34
300	16	13	29	23	15	40	24	18	30

Primjedba: **Za druga najveća radna naprezanja kritični rasponi dobiju se** tako da se vrijednosti u tablici pomnože s omjerom tog najvećeg naprezanja i najvećeg naprezanja iz tablice. Kritične temperature dobiju se tako da se vrijednosti iz gornje tablice doda 5 pa se dobiveni broj pomnoži opet s omjerom odabranog najvećeg radnog naprezanja i najvećeg naprezanja iz tablice, i na kraju od produkta odbije 5. Npr. za Cu 50 mm² i 12 kp/mm² jest:

$$t_k = \frac{12}{19}(12 + 5) - 5 = 25°\text{C} \qquad a_k = \frac{12}{19} \cdot 84 = 53 \text{ m}$$

Iznad kritičnog raspona do najvećeg radnog naprezanja dolazi pri —5° C i dodatnog tereta, ispod kritičnog raspona pri —20° C bez dodatnog tereta.

Kritična temperatura je ona temperatura vodiča (ili zaštitnog užeta) pri kojoj je provjes vodiča bez dodatnog tereta jednak provjesu vodiča sa dodatnim teretom, ali pri —5° C.

* Najveće radno naprezanje.

215a

Računske specifične težine dodatnog tereta za proračun provjesa reducirane na presjek vodiča

Dodatni teret 1 prema 208 (str. 341) podijeljen sa izradbenim presjekom užeta prema 200 odn. 202a

Homogena užeta (npr. bakar, aluminij čelik)				Alučelična užeta					
S mm²	γ_d kg/mm²	S mm²	γ_d kg/mm²	S mm²	γ_d kg/mm²	S mm²	γ_d kg/mm²	S mm²	γ_d kg/mm²
10	36,4	95	6,82	16/2,5	23,5	120/21	4,97	125/29	4,70
16	25,6	120	5,75	25/4	16,8	150/25	4,29	170/40	3,68
25	18,7	150	4,87	35/6	12,8	185/32	3,66	210/50	3,16
35	14,3	185	4,14	50/8	9,92	210/36	3,33	310/100	2,29
50	10,9	240	3,84	70/12	7,88	240/40	3,04	340/110	2,11
70	8,86	300	2,85	95/15	6,28	300/50	2,57		

Za dodatni teret 1,6, 2,5 ili 4 treba vrijednosti iz tablice pomnožiti sa 1,6 odn. 2,5 odn. 4. Da se dobije ukupna specifična težina užeta, treba vrijednostima za dodatni teret iz gornje tablice dodati specifičnu težinu užeta.

216

Grafički postupak po Szilasu*)

Najprije odredi kritični raspon po formuli (5) na strani 348 ili ga izvadi iz tablice 215.

Postupak za raspone manje od kritičnog

a) Izračunaj provjes po formuli (2) u koju stavi za γ težinu vodiča bez dodat. tereta, a za σ najveće radno naprezanje. Ovo je provjes pri -20^0 C.

b) Izračunaj procentualni provjes φ po formuli: $\varphi = 100 f/a$.

c) Na pripadnom dijagramu (217 a do 217 c) odredi na krivulji za -20^0 C onu tačku kojoj apscisa odgovara izračunatom procent. provjesu.

d) Tako određenu tačku spoji pravcem sa pripadnim rasponom na ordinati. Apscise sjecišta ovog pravca s krivuljama za pojedine temperature daju procentualne provjese pri tim temperaturama.

e) Iz dobivenih procentualnih provjesa izračunaj stvarne provjese po formuli $f = \varphi a/100$.

Postupak za raspone veće od kritičnog

a) Izračunaj kritičnu temperaturu t_k iz formule (6) na strani 349 ili je izvadi iz tablice 215.

b) Izračunaj provjes f po formuli (2) u koju za γ stavi težinu vodiča sa dodatnim teretom, a za σ odabrano najveće naprezanje. (Dodatne terete vidi u 208). Ovo je provjes pri -5^0 C.

c) Izračunaj procentualni provjes φ po formuli: $\varphi = 100 f/a$.

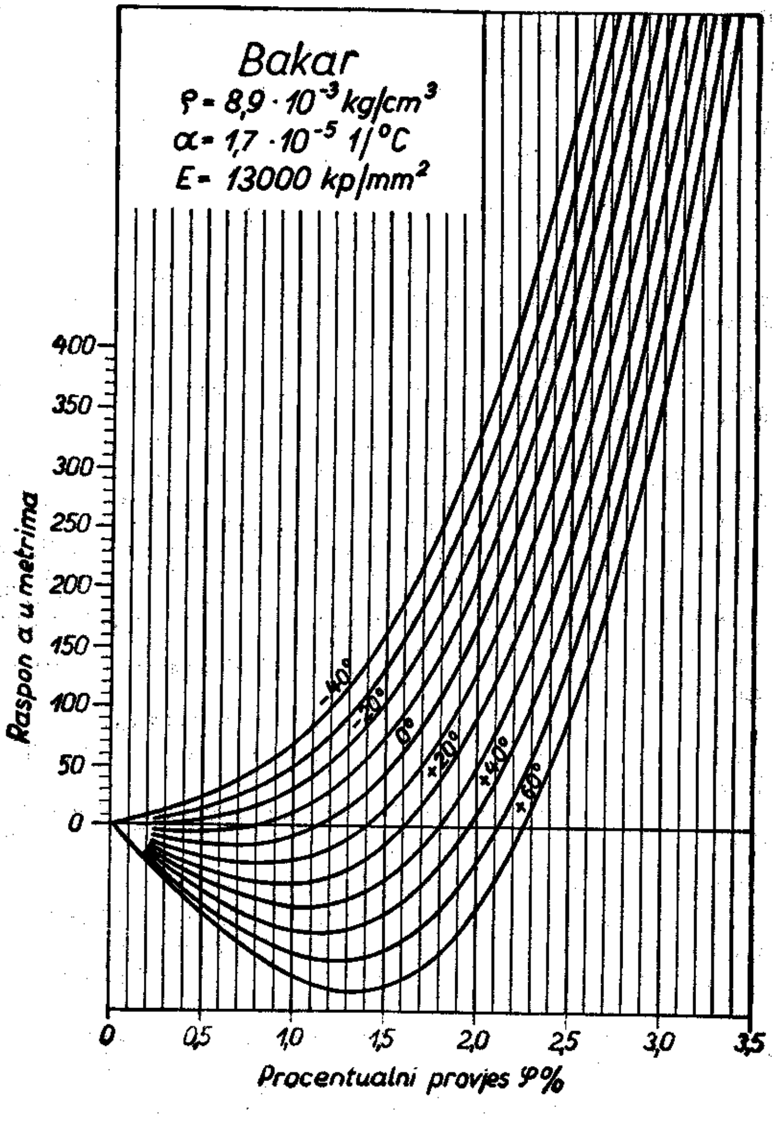
d) Na pripadnom dijagramu (217a do 217c) odredi na krivulji za t_k onu tačku čija apscisa odgovara izračunatom procentualnom provjesu.

e) Dalje postupaj jednako kao što je opisano u postupku za raspone manje od kritičnog pod d) i e).

*) Vidi ETZ 1919, str. 466, 477 i 493. Ima još mnogo drugih grafičkih postupaka. Vidi u našoj literaturi: M. Argirović, Univerzalan nomogram za izračunavanje ugiba provodnika. Elektrotehn. vesnik 1949, br. 12, str. 277. — B. Stefanini, Nomogram za proračun provjesa kod dalekovoda, Elektrotehn. vesnik 1950, br. 1, str. 16. — B. Stefanini, Mehanički proračun vodiča pomoću PN-krivulje, Elektrotehničar 1950, br. 8, str. 218.

217a **Szilasov dijagram za određivanje provjesa bakrenih vodiča**

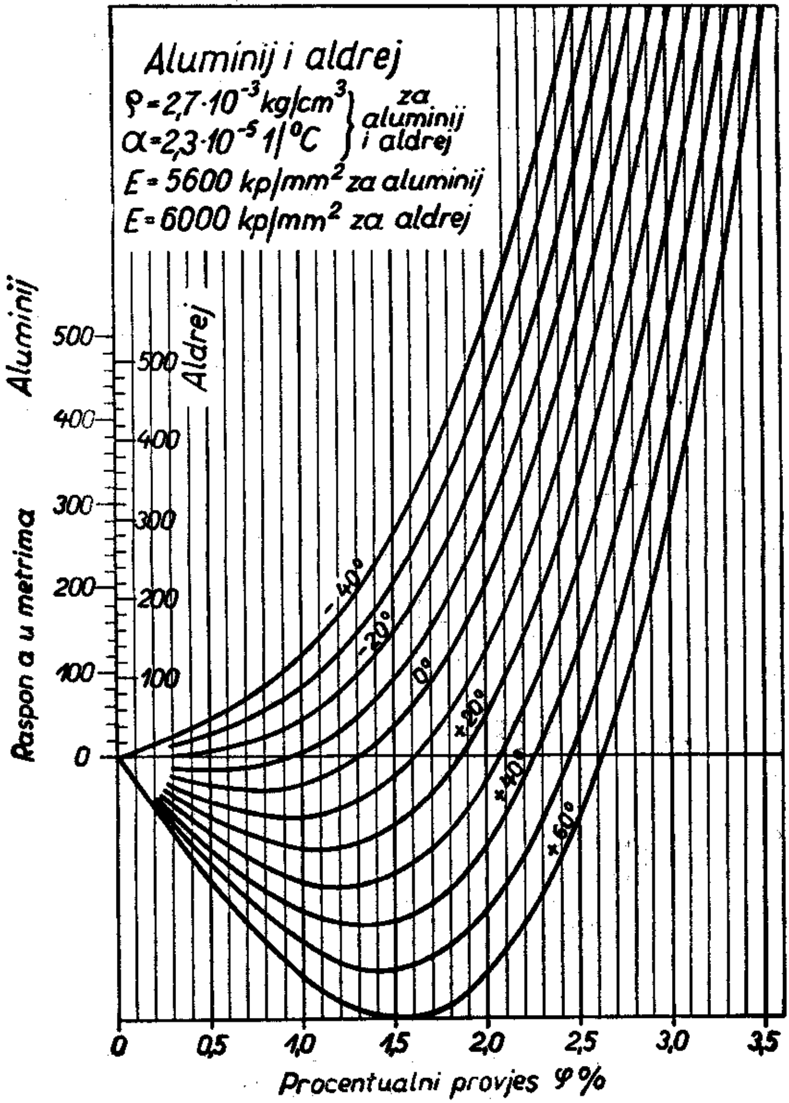
(Upute za upotrebu dijagrama vidi u 216.)



(Iz knjige: Behrens i dr., Aluminium-Freileitungen, 6. izdanje.)

Szilasov dijagram za određivanje provjesa aluminijskih i aldrejskih vodiča **217b**

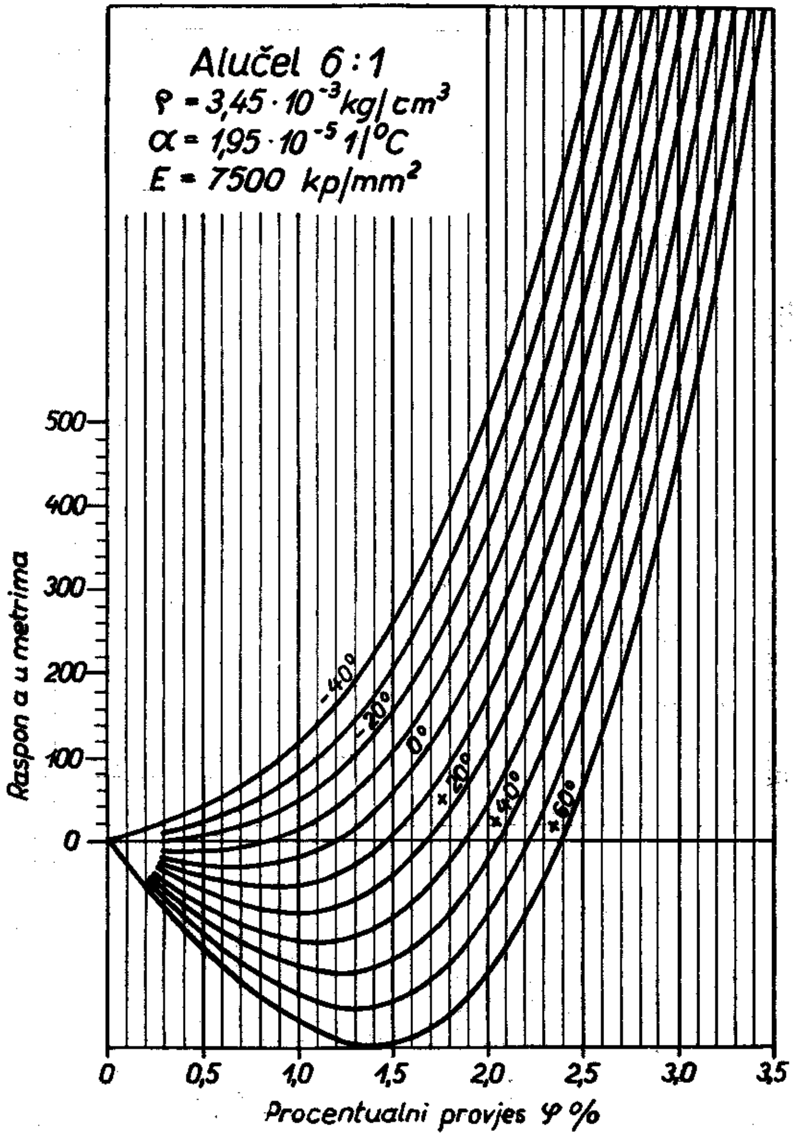
(Upute za upotrebu dijagrama vidi u 216.)



(Iz knjige: Behrens i dr., Aluminium - Freileitungen, 6. izdanje.)

217c Szilasov dijagram za određivanje provjesa alučeličnih vodiča 6 : 1

(Upute za upotrebu dijagrama vidi u 216.)



(Iz knjige: Behrens i dr., Aluminium - Freileitungen, 6. izdanje.)

218 a

Granični rasponi

kod kojih dvostruki dodatni teret napreže užeta nategnuta prema stupcu 4 tablice 213 najviše do izuzetno dozvoljenog naprezanja, tj. do trajne zatezne čvrstoće (stupac 5 tablice 213) (uporišta u jednakoj visini, područje dodatnog tereta 1 g; vidi str. 341)

Nazivni presjek mm^2	Granični rasponi u metrima za užeta od								
	bakra	bronce		aluminija	aldreja	alučela 6:1	čelika		
		Bc II	Bc III				Č 40	Č 70	Č 120
10	100	270	450	—	35*	35*	340	580	1000
16	160	400	690	35*	35*	270	500	860	1390
25	240	610	1050	110	490	420	730	1250	2010
35	350	890	1330	160	660	610	960	1650	2660
50	540	1180	1820	220	680	820	1210	2120	3410
70	800	1500	2360	300	1150	1060	1500	2620	4210
95	1110	2170	3050	420	1450	1350	1850		
120	1350	2560	3510	520	1730	1700			
150	1590	2960	3990	650	2100	1950			
185	1820	3360	4470	810	2460	2250			

* Užeta navedenog presjeka i od navedenog materijala dozvoljena su samo za raspone do 35 m.

Primjedbe: 1. Dozvoljeno je prema propisima izvesti i veće raspone od navedenih »graničnih raspona« (osim onih koji su označeni zvjezdicom), no tada treba najveće naprezanje toliko smanjiti da izuzetni dodatni teret napreže užeta najviše do izuzetno dozvoljenog naprezanja. — 2. Za područja gdje se računa sa većim normalnim dodatnim teretima (1,6 *g*, 2,5 *g* ili 4 *g*) granični rasponi su znatno manji. Tako npr. za **Ač 150 25** iznose granični rasponi: Za područje 1 *g*: 1950 m, za područje 1,6 *g*: 1230 m, za područje 2,5 *g*: 750 m, a za područje 4 *g*: 430 m. — 3. Granični raspon naglo se povećava sa smanjenjem radnog naprezanja. — 4. Vrijednosti u tablici odgovaraju vrijednostima iz VDE 0210/2.51, osim za alum nij, alučel i za velike presjeke. Granični rasponi VDE 0210.5.62 manji su jer su određeni prema još jednom kriteriju.

218 b

Granični križišni rasponi

(za ukrštavanje sa željezničkim prugama)

kod kojih četvorostruki dodatni teret napreže užeta nategnuta sa 50% naprezanja prema stupcu 4 tablice 213 najviše do trajne zatezne čvrstoće (uporišta u jednakoj visini, područje dodatnog tereta 1 g; vidi str. 341).

Nazivni presjek mm^2	Granični križišni rasponi u metrima za užeta od						
	bakra	bronce Bc II	aluminija	aldreja	alučela	čelika	
						Č 40	Č 70
25	260	540	—	—	—	260	600
35	410		—	400	380	410	
50	600		90	550	520	600	
70			130	730	680		
95			190		820		
120			260		1060		
150			360				

Primjedbe: 1. Kao pod 1 ispod tablice 218a. — 2. Vrijednosti u gornjoj tablici uzete su iz VDE 0210/XII 40, a odgovaraju i našim propisima. Prema propisima VDE 0210 2.51 i kasnijim t r o s t r u k i dodatni teret smije napregnuti užeta u graničnom rasponu do trajne čvrstoće na vlak. — 3. Granični križišni rasponi za Al vrijede za naprezanje 4 kp/mm².

219 Tablica provjesa za mjesne mreže sa bakrenim vodičima

za žicu 6 mm² i užeta 10 do 70 mm²

Presjek mm²	Raspon m	σ_m = 12 kp/mm²					σ_m = 8 kp/mm²				
		Provjes u cm pri temperaturi u °C					Provjes u cm pri temperaturi u °C				
		−20	0	+20	+40	$-5+G_d$	−20	0	+20	+40	$-5+G_d$
6	10	1,1	1,5	3,2	13,5	8,6	1,5	3	8	13,5	11
	15	2,1	3,3	6,6	14	14	7	11	18	26	21
	20	4,2	7,3	15	24	25	18	27	35	41	37
	25	9	17	28	38	39	39	50	58	65	58
	30	20	32	44	55	56	67	76	84	90	84
	35	34	53	65	75	76	96	104	111	117	111
10	15	2	3,5	7	14,5	11	8	11,5	18	24,5	16
	20	4	6	11	20	19,5	17	23	31	38	28
	25	6,5	10,5	19	31	29,5	36	45	54	62	44
	30	11,5	20	31	43	42,5	43	54	63	71	64
	35	20	32	46	59	58	66	75	84	93	86
	40	33	48	63	77	76	92	100	110	119	112
	45	53	69	84	97	96	122	129	140	149	143
	50	75	91	106	119	118,5	156	164	173	182	176
16	20	4	6	11	20	16	6	11	21	29	22
	25	5	8,5	15,5	28	24	14	23,5	33	43	34
	30	9	13,5	23	36	33	26	38	48	58	50
	35	13,5	21	32,5	48	44	41	54	65	76	68
	40	19,5	30,5	45,5	62	58	60	73	85	96	86
	45	29	44	61	76	74	81	94	107	117	109
	50	42	60	77	94	90	106	120	132	144	134
25	20	4	6	11	20	13	6	11	20	29	18
	30	8,5	12,5	22	36	28	16	27	40	51	39
	40	16	23,5	37	52,5	46	40	55	70	82	69
	50	30	43	61	78	71	78	94	108	121	108
35	20	4	6	11	20	12	5,5	10,5	20	28,5	17
	30	8,5	12,5	22	35	25	12,5	21,5	34	46	33
	40	15	22	34,5	50	40	29,5	44,5	59,5	73,5	58
	50	25	36,5	53	71	61	58	75,5	92,5	108	91
50	20	4	6	11	20		5,5	10,5	20	28,5	
	30	8,5	12,5	22	35	22	12,5	21	33,5	45	
	40	15	22	34,5	50	36	24	38	53	67	50
	50	23	33	48,5	67	53	47	64	81	96	78
70	20	4	6	11	20		5,5	10,5	20	28,5	
	30	8,5	12,5	22	35	19	12,5	21	33,5	45	27
	40	15	22	34,5	50	33	22,5	34	50	65	44
	50	24	34	48,5	67	48	39	56	74	91	68,5

σ_m-najveće radno naprezanje kp/mm²; G_d-dodatni teret leda, snijega i inja = $0{,}18\sqrt{d}$ kg/m (*d*-promjer vodiča u mm).

Ako se na istim stupovima nalaze vodiči različitih presjeka, preporučuje se užeta zategnuti prema tablici za najmanji presjek.

Za veće raspone vidi naredne tablice provjesa.

Tablica provjesa za bakreno uže Cu 10 mm²

za najveća radna naprezanja 19, 16 i 12 kp/mm²

σ_m kp/mm²	a m	Provjes u cm pri temperaturi u °C							
		— 20	— 10	0	+ 10	+ 20	+ 30	+ 40	— 5 + G_d
19	20	2,4	2,65	3	3,6	4,3	5,3	7,2	—
	30	5,3	5,85	6,7	7,9	9,6	12	15,3	—
	40	10,5	11,5	13,5	16	19	23,5	30	48
	50	18,5	21,5	25,5	30,5	36,5	44,5	53,5	75
	60	33	38,5	46	54,5	64	74	84,5	107,4
	70	57,5	67	78	89	100,5	111,5	122,5	146,5
	80	95,5	107,5	120	132,5	144	155,5	166,5	191
	90	144,5	158	170,5	183	194,5	206	217	242
	100	201,5	214,5	227	239,5	251	262,5	273,5	298,5
16	20	3	3,5	4	4,5	6	8	12	—
	30	6,5	7,5	9	11	14	18	23,5	32
	40	13,5	17	20,5	25	31,5	39	47	57
	50	29	36	43	51	60	69	78	89
	60	59	69	79	89	98	107	116	128
	70	102	113	124	134	144	154	163	174
	80	156	167	177	187	197	206	215	227
	90	217	228	238	248	258	267	276	287
	100	285	295	305	315	325	334	343	355
12	20	4	4,5	6	8	11	15,5	20	—
	30	11	15	20	25	31	37	43	43
	40	33	41	48	56	63	70	77	76
	50	75	83	91	99	106	113	119	118
	60	127	136	143	150	157	164	171	170
	70	190	198	205	212	219	226	233	232
	80	262	269	276	283	290	297	304	303
	90	342	349	357	364	371	377	384	383
	100	432	439	446	453	460	467	474	473

a - raspon, G_d - dodatni teret leda, snijega i inja = $0,18\sqrt{d}$ kg/m (*d* - promjer užeta u mm)

Tablica provjesa za bakrena užeta **Cu 16** i **Cu 25** mm²

za najveća radna naprezanja 19, 16 i 12 kp/mm²

σ_m kp/mm²	*a* m	Cu 16 mm² — Provjes u cm pri temperaturi °C: — 20	0	+ 20	+ 40	— 5*	Cu 25 mm² — Provjes u cm pri temperaturi °C: — 20	0	+ 20	+ 40	— 5*
19	30	5	7	10	15	—	6	7	10	15	—
	40	10	12	17	26	—	10	12	17	26	—
	50	16	20	28	41	57	15	19	26	38	—
	60	25	33	45	63	82	22	28	38	53	65
	70	38	50	68	90	111	32	41	55	75	89
	80	57	75	98	123	145	45	58	77	100	116
	90	84	108	135	161	184	62	80	103	130	147
	100	119	148	176	203	227	84	107	135	163	181
	110	163	193	223	250	274	112	140	170	201	219
	120	213	245	274	302	327	146	178	210	242	261
	130	269	301	331	359	383	186	220	254	287	306
	140	330	362	392	420	445	232	268	302	335	355
	150	396	427	457	485	510	282	319	354	387	408
16	30	7	9	13	22	—	7	9	13	22	—
	40	11	15	24	37	43	11	15	22	35	—
	50	21	29	42	60	68	18	24	34	50	54
	60	35	49	68	89	98	28	38	53	74	77
	70	58	79	102	124	133	43	58	78	100	105
	80	93	117	141	163	173	63	84	107	132	137
	90	135	162	187	210	219	90	115	142	168	173
	100	186	212	237	260	270	125	153	182	208	213
	110	242	269	294	317	327	166	196	225	253	258
	120	305	331	356	379	389	213	244	274	302	307
	130	372	399	423	446	457	265	297	327	355	360
	140	446	471	496	520	529	322	353	383	412	418
	150	525	550	574	598	608	383	415	447	475	480
12	20	4	6	11	20	—	4	6	11	20	—
	30	9	14	23	36	33	9	13	22	36	—
	40	19	31	46	62	58	16	24	37	52	46
	50	42	60	77	94	90	30	43	61	78	71
	60	79	99	117	134	130	51	71	91	112	103
	70	125	145	163	180	177	83	106	128	148	140
	80	179	199	218	235	231	124	148	171	191	182
	90	241	261	279	296	292	172	196	218	239	230
	100	309	328	347	364	360	226	249	272	293	284
	110	385	404	423	440	436	285	309	332	353	344
	120	468	487	505	522	519	350	374	397	418	409
	130						421	445	468	489	480

* Provjes pri –5° C uz dodatni teret leda, snijega i inja = 0,18 $\sqrt{d}$ kg/m (*d* – promjer užeta u mm).

Tablica provjesa za bakrena užeta Cu 35 i Cu 50 mm²

za najveća radna naprezanja 19, 16 i 12 kp/mm²

σ_m kp/mm²	a m	Cu 35 mm²					Cu 50 mm²				
		Provjes u cm pri temperaturi °C									
		−20	0	+20	+40	−5*	−20	0	+20	+40	−5*
19	50	15	19	26	28	—	15	19	26	38	—
	60	21	27	36	51	—	21	27	36	51	—
	70	29	37	49	66	75	29	37	49	66	—
	80	40	51	67	88	99	38	47	62	82	—
	90	53	68	88	113	125	49	62	80	103	106
	100	70	88	112	140	154	63	79	101	128	121
	110	90	113	141	171	186	80	100	126	155	159
	120	114	142	173	205	222	100	124	153	185	189
	130	143	174	208	243	260	123	151	184	218	221
	140	177	211	247	283	312	150	182	217	253	257
	150	215	252	290	326	346	181	216	253	291	295
	160	257	297	335	373	394	215	253	292	331	335
	170	304	344	384	422	445	253	293	334	374	379
	180	354	396	436	475	499	294	337	379	420	425
16	50	18	24	34	49	—	13	24	34	49	—
	60	25	34	47	66	65	25	33	46	65	—
	70	37	50	68	89	89	34	45	61	82	—
	80	53	70	92	117	116	48	62	82	106	100
	90	73	95	120	148	147	64	83	107	133	126
	100	99	125	153	182	182	84	107	134	163	156
	110	130	160	190	220	219	108	136	166	196	189
	120	167	199	231	262	261	137	168	201	232	224
	130	209	243	275	307	306	171	204	238	271	263
	140	255	291	325	356	356	208	244	280	314	305
	150	307	342	376	408	408	250	188	324	359	251
	160	362	397	432	464	464	296	335	372	407	399
	170	420	457	491	524	524	345	385	423	459	450
	180	484	520	555	588	587	398	439	477	514	505
12	40	15	22	34	50	—	15	22	35	50	—
	50	25	37	53	71	61	23	33	49	67	—
	60	42	58	78	99	87	36	50	69	90	75
	70	65	87	100	130	118	54	74	95	118	101
	80	96	120	144	167	155	78	102	126	150	132
	90	135	160	185	209	196	109	135	161	186	168
	100	178	206	231	255	242	144	172	200	226	207
	110	229	256	282	307	292	186	215	244	271	250
	120	284	312	337	362	348	232	262	290	317	298

* Provjes pri −5° C uz dodatni teret leda, snijega i inja = $0{,}18\sqrt{d}$ kg/m (d – promjer užeta u mm)

Tablica provjesa za bakrena užeta **Cu 70** i **Cu 95** mm²

za najveća radna naprezanja 19, 16 i 12 kp/mm²

σ_m kp/mm²	a m	Cu 70 mm²					Cu 95 mm²				
		Provjes u cm pri temperaturi u °C									
		−20	0	+20	+40	−5*	−20	0	+20	+40	−5*
19	50	15	19	26	38	31	15	19	26	38	
	60	21	27	36	51	44	21	27	36	51	
	80	29	37	49	66	59	38	47	62	82	
	100	38	47	62	82	75	59	73	93	118	
	120	48	59	77	100	93	86	106	131	162	149
	140	60	74	95	120	117	124	150	182	217	203
	160	92	114	141	172	168	171	204	241	281	265
	180	135	164	197	233	229	228	268	310	352	336
	200	190	226	264	304	299	297	341	387	432	414
	220	257	299	341	383	378	375	424	472	520	501
	240	337	383	428	472	467	463	516	566	616	596
	260	429	477	525	570	565	563	615	668	719	700
	280	531	582	631	677	672	672	725	779	832	812
	300	644	696	746	794	789	788	844	899	952	932
16	50	18	24	34	49	37	18	24	34	50	
	60	25	33	45	65	52	25	34	47	65	
	80	34	45	61	82	68	45	58	78	101	
	100	45	58	77	101	86	71	90	114	142	123
	120	58	74	87	123	110	110	136	167	200	177
	140	75	96	121	150	136	161	194	230	266	241
	160	119	148	179	211	196	225	263	303	341	315
	180	177	213	248	284	267	301	344	386	426	398
	200	251	290	328	365	348	389	435	479	521	492
	220	337	379	420	459	441	489	536	581	625	595
	240	437	480	523	563	544	599	648	694	739	708
	260	548	593	635	677	656	720	769	817	862	831
	280	671	717	761	803	783	852	901	949	997	964
	300	805	853	897	939	919	992	1044	1092	1139	1107
12	40	15	22	35	50	33	15	22	34	50	
	60	24	34	49	67	48	34	47	65	86	
	80	34	47	65	86	65	62	83	107	132	105
	100	49	67	88	111	91	110	137	166	194	164
	120	69	92	116	140	118	174	207	239	269	236
	140	95	121	147	173	150	255	290	324	356	321
	160	125	154	182	209	185	351	387	422	455	420
	180	201	233	263	292	266	461	498	534	568	531
	200	295	328	359	389	362	585	622	659	693	656
	220	404	438	470	501	473	722	760	796	831	794

* Provjes pri −5° C uz dodatni teret leda, snijega i inja = $0{,}18 \sqrt{d}$ kg/m (d – promjer užeta u mm)

Tablica provjesa za bakreno uže **Cu 150 mm²**

za najveća radna naprezanja 19, 16, 12 i 9,5 kp/mm²

Raspon m	Provjes u cm pri temperaturi °C					Provjes u cm pri temperaturi °C				
	— 20	0	+ 20	+ 40	— 5 + G_d	— 20	0	+ 20	+ 40	— 5 + G_d
	σ_m = 19 kp/mm²					σ_m = 16 kp/mm²				
100	59	73	93	118	—	69	89	113	140	—
110	71	88	110	138	—	84	106	133	162	—
120	85	104	128	159	—	100	126	154	186	155
130	99	121	148	180	—	121	148	181	215	182
140	115	139	168	202	—	144	175	209	245	211
150	135	162	195	231	204	170	205	241	279	242
160	156	187	222	261	232	198	235	274	294	275
170	180	213	252	292	262	229	269	309	351	311
180	205	242	283	325	294	263	305	348	389	349
190	233	273	316	360	327	299	343	387	430	388
200	263	305	350	396	362	338	384	429	474	430
210	295	340	387	434	400	380	427	473	519	475
220	330	377	425	474	438	423	472	520	566	521
230	366	416	466	516	479	470	520	568	615	569
240	405	457	508	559	522	519	569	619	667	620
250	446	499	552	604	566	570	621	672	720	673
260	490	544	598	651	612	623	676	727	776	728
270	535	591	646	700	660	679	732	784	833	785
280	582	639	696	751	710	737	791	843	893	844
290	631	690	748	803	762	798	852	904	955	905
300	683	743	801	857	816	860	915	968	1019	969
	σ_m = 12 kp/mm²					σ_m = 9,5 kp/mm²				
100	97	126	153	180	143	139	167	193	220	181
120	152	183	216	247	207	213	245	275	303	261
140	220	256	291	325	281	305	338	375	404	354
160	302	341	378	413	367	413	447	479	509	463
180	397	437	475	512	465	536	569	602	634	586
200	504	545	585	622	574	672	707	740	771	724
220	623	665	706	744	695	824	858	891	924	875
240	754	797	838	878	827	991	1025	1058	1092	1042
260	898	941	983	1023	971	1175	1207	1239	1271	1223
280	1053	1097	1139	1180	1127	1368	1402	1436	1470	1419
300	1220	1263	1306	1348	1294	1578	1612	1646	1680	1629

G_d — dodatni teret leda, snijega i inja = $0{,}18\sqrt{d}$ (d — promjer užeta u mm)

221 Tablica provjesa za ukrštavanja sa željezničkim prugama za bakrena užeta 25 do 95 mm²

Najveće radno naprezanje 9,5 kp/mm²

Nazivni presjek mm²	Raspon m	Provjes u cm pri temperaturi °C							
		— 20	— 10	0	+ 10	+ 20	+ 30	+ 40	— 5 + G_d
25	30	11	14	18	23	30	36	42	32
	40	24	31	39	47	54	61	68	57
	50	51	60	69	77	86	93	100	89
	60	88	98	107	116	124	133	141	128
	70	134	144	153	162	171	179	187	174
	80	187	197	206	215	224	232	240	227
35	30	11	13	17	23	29	36	42	—
	40	21	26	32	40	48	55	62	49
	50	39	48	57	66	74	83	91	76
	60	68	79	89	99	108	117	125	109
	70	105	117	127	137	147	156	165	149
	80	150	161	172	182	192	202	211	194
	90	202	213	223	234	243	253	262	245
	100	259	270	281	291	301	311	321	303
50	30	11	13	17	23	29	36	42	—
	40	19	23	29	36	44	52	59	—
	50	33	42	50	58	66	74	83	65
	60	55	65	75	85	94	103	113	94
	70	85	96	107	118	129	139	148	127
	80	122	134	145	157	168	178	188	166
	90	164	177	189	200	212	223	234	210
	100	213	225	237	249	261	272	283	259
70	40	19	23	29	36	44	52	59	—
	50	30	36	43	52	61	70	78	—
	60	48	56	65	75	85	95	105	82
	80	102	114	126	138	150	161	172	145
	100	180	193	207	219	232	244	256	227
	120	278	293	306	319	332	345	357	327
	140	396	410	424	437	451	464	477	445
	160	532	546	560	574	587	600	615	581
95	40	30	36	43	52	61	70	78	—
	60	43	51	60	70	81	91	101	74
	80	90	103	115	127	139	150	162	132
	100	160	174	187	200	213	226	239	206
	120	247	262	277	291	305	318	331	296
	140	353	368	383	398	412	425	438	403
	160	476	491	506	521	535	548	562	526
	180	615	630	645	660	674	688	703	665

G_d dodatni teret snijega, leda i inja = 0,18 $\sqrt{d}$ kp/m (d-promjer užeta u mm).

Tablica provjesa za mjesne mreže s aluminijskim vodičima **222**

Ova tablica vrijedi i za aldrejske vodiče.

Presjek mm²	Raspon m	σ_m = 7 kp/mm²* Provjes u cm pri temperaturi u C°						σ_m=5 odnosno 4,5 kp/mm²* Provjes u cm pri temperaturi u °C					
		— 10	0	+ 10	+ 20	+ 30	+ 40	— 10	0	+ 10	+ 20	+ 30	+ 40
16	20							5	8	15	22	28	33
	25							15	23	31	38	44	50
	30							34	43	51	57	64	69
	35							59	67	74	80	87	92
25	20	2,5	3	5	8	14	22	4	5	9	16	23	29
	25	3	4	7	11	19	28	7	11	18	27	34	41
	30	6	7	10	16	25	35	14	22	32	41	49	56
	35	9	13	18	27	38	48	16	40	49	58	66	73
	40	13	19	28	39	51	62						
	45	23	32	44	56	68	79						
	50	33	46	60	73	85	96						
35	20	2,5	3	5	8	14	22	4	5	9	16	23	29
	25	3	4	7	11	19	28	5	8	14	22	30	37
	30	6	7	10	16	25	35	9	14	22	32	41	48
	35	8	10	14	22	34	43	11	24	35	45	55	63
	40	10	14	19	28	40	52						
	45	15	21	29	36	53	65						
	50	21	28	39	53	67	79						
50	20	2,5	3	5	8	14	22	5	9	17	24	30	36
	25	3	4	7	11	19	28	7	14	22	30	37	44
	30	6	7	10	16	25	35	11	18	28	37	46	54
	35	8	10	14	22	33	42	17	27	39	50	59	67
	40	10	14	18	27	36	49	28	41	53	64	73	82
	45	13	17	24	33	45	58						
	50	16	21	28	40	54	67						
70	20	2,5	3	5	8	14	22	5	9	17	24	30	36
	25	3	4	7	11	19	28	7	14	22	30	37	44
	30	6	7	10	16	25	35	11	18	28	37	46	54
	35	8	10	14	21	31	42	14	23	34	45	55	64
	40	10	13	17	26	37	49	20	30	42	54	64	74
	45	13	16	22	32	44	57	30	43	55	68	79	89
	50	16	19	26	37	51	65	41	56	70	82	94	104
95	20							5	9	17	24	30	36
	30	6	7	10	16	25	35	11	18	28	37	46	54
	40	10	13	18	26	37	49	18	28	40	52	63	73
	50	16	20	27	38	51	65	31	45	60	74	86	97

* 5 kp/mm² za presjeke do 35 mm², za veće presjeke 4,5 kp/mm².

σ_m — najveće radno naprezanje. Provjes pri +40° C veći je od provjesa pri −5° C sa dodatnim teretom (za sve slučajeve u tablici).

Ako se na istim stupovima nalaze vodiči različitih presjeka, preporučuje se užeta zategnuti prema tablici za najmanji presjek.

Za veće raspone vidi tablicu provjesa na narednoj strani.

223 Tablica provjesa za aluminijska užeta

za najveće radno naprezanje 7 kp/mm²

Raspon m	Provjes u centimetrima pri temperaturi °C											
	— 20	0	+ 20	+ 40	— 20	0	+ 20	+ 40	— 20	0	+ 20	+ 40
	Al 25				Al 35				Al 50			
60	57	88	116	138	30	55	86	114	21	36	64	95
70	109	139	165	188	59	94	126	154	35	60	95	107
80	169	197	222	245	104	140	172	200	58	93	131	164
90	236	263	288	310	158	193	224	252	92	134	172	206
100	310	336	360	383	218	252	283	311	137	180	218	252
110	391	416	440	463	284	317	347	375	189	232	270	304
120	480	504	528	551	356	388	418	446	247	288	326	360
130	576	600	624	646	433	465	495	523	309	350	387	422
140	679	703	727	749	517	548	577	606	376	416	453	488
150	790	814	837	860	607	637	667	695	448	487	524	559
	Al 70				Al 95				Al 120			
50	12	19	37	65	12	19	37	65	12	19	37	65
60	18	29	52	84	17	27	50	81	17	27	50	81
70	28	45	77	111	24	37	64	98	24	37	64	98
80	42	69	107	143	34	53	87	125	31	48	79	117
90	63	99	141	178	47	75	115	155	42	65	103	144
100	92	136	179	218	66	102	146	188	57	87	130	174
110	131	178	222	261	90	134	181	225	75	114	161	206
120	177	225	269	309	122	171	220	264	99	145	195	242
130	228	277	320	360	159	212	262	307	128	180	232	280
140	284	332	376	416	202	257	308	354	163	218	272	321
150	344	392	436	476	250	306	357	403	202	261	315	366
160	409	456	499	540	302	358	409	456	246	306	362	413
170	477	524	567	608	358	414	465	513	294	355	411	463

Provjes pri —5° C uz normalni dodatni teret je za presjeke 25 do 50 mm² praktički jednak provjesu pri + 40° C bez dodatnog tereta. Ako je presjek veći, provjes pri —5° C uz normalni dodatni teret manji je nego pri + 40° C bez dodatnog tereta.

TABLICE PROVJESA ZA ALUČELIČNA UŽETA **224**

Tablica provjesa za alučelična užeta Ač 16/2,5 i Ač 25/4 mm²

za najveća radna naprezanja 10, 8 i 6 kp/mm²

σ_m kp/mm²	Raspon m	Ač 16/2,5 mm²					Ač 25/4 mm²				
		Provjes u cm pri temperaturi °C									
		−20	0	+20	+40	−5*	−20	0	+20	+40	−5*
10	40	8	12	31	39	54					
	50	17	26	45	68	85	12	18	28	49	64
	60	34	55	81	105	122	21	31	50	76	92
	70	70	99	125	149	165	34	52	79	108	125
	80	122	150	176	199	216	57	85	116	146	163
	90	181	209	233	256	273	92	126	159	188	206
	100						139	175	207	237	255
	110						193	228	261	290	308
	120						253	287	319	348	366
8	40	14	27	46	65	68	10	16	31	51	
	50	41	64	85	103	106	20	34	57	78	80
	60	89	111	131	149	152	41	65	91	113	115
	70	146	167	186	204	207	78	106	132	155	156
	80	211	231	249	267	270	125	154	179	202	204
	90	283	303	321	338	341	181	209	233	256	258
	100	362	382	400	418		243	269	294	317	318
	110						311	336	361	383	385
	120	546	566	584	602		385	410	434	456	458
6	40	51	68	83	95	90					
	50	104	119	133	145	140	58	80	98	114	106
	60	167	181	195	287	202	106	127	145	162	153
	70	240	254	267	280	275	162	182	200	216	208
	80	324	338	351	364	359	227	246	263	280	273
	90	420	433	447	459	454	299	318	335	352	344
	100						380	398	416	433	424
	110						469	487	505	521	513
	120						567	585	602	619	610

* Provjes pri −5° C uz dodatni teret leda, snijega i inja = $0{,}18\sqrt{d}$ kg/m (d — promjer užeta u mm)

Tablica provjesa za alučelična užeta **Ač 35/6** i **Ač 50/8** mm²

za najveća radna naprezanja 10, 8 i 6 kp/mm²

σ_m kp/mm²	Raspon m	Ač 36/6 mm²					Ač 50/8 mm²				
		Provjes u cm pri temperaturi °C									
		−20	0	+20	+40	−5*	−20	0	+20	+40	−5*
10	50	11	15	24	41						
	60	17	24	37	60	73	16	22	33	54	
	70	26	37	57	80	100	22	31	46	72	82
	80	38	56	83	115	130	31	44	66	96	107
	90	56	82	115	149	165	43	61	90	124	136
	100	82	115	152	187	203	59	84	118	155	167
	110	117	156	194	229	246	81	112	151	190	202
	120	160	201	240	276	293	108	146	188	228	241
	130	210	252	291	326	343	142	185	228	269	282
	140						182	229	273	314	327
	150						228	276	321	362	376
8	50	16	24	42	65	64					
	60	27	42	68	93	92	22	33	54	80	75
	70	45	70	99	125	125	34	52	79	108	103
	80	75	106	137	164	163	51	77	109	139	134
	90	115	149	130	207	206	77	100	143	174	169
	100	163	197	227	255	254	111	147	182	214	209
	110	217	250	281	308	307	152	190	226	258	253
	120	276	309	339	367	365	199	238	274	306	301
	130	340	372	402	430	429	251	290	325	359	353
	140						307	346	382	415	409
	150						368	406	442	575	470
6	50	33	55	77	96	85					
	60	66	92	114	134	122	43	68	93	116	101
	70	110	136	158	178	166	75	103	129	152	137
	80	162	186	208	229	217	115	145	171	194	178
	90	220	244	266	286	274	163	192	218	242	226
	100	285	308	330	351	338	216	245	271	295	279
	110	356	379	401	422	409	275	303	329	354	337
	120	434	457	479	500	487	339	367	393	418	401
	130	520	542	563	584	572	409	436	463	488	470
	140						484	512	538	563	546
	150						565	592	618	644	626

* Provjes pri −5° C uz dodatni teret leda, snijega i inja = $0,18\sqrt{d}$ kg/m (d – promjer užeta u mm)

Tablica provjesa za alučelična užeta **Ač 70/12** i **Ač 95/15** mm²

za najveća radna naprezanja 10, 8 i 6 kp/mm²

σ_m kp/mm²	Raspon m	Ač 70/12 mm²					Ač 95/15 mm²				
		Provjes u cm pri temperaturi °C									
		− 20	0	+ 20	+ 40	− 5*	− 20	0	+ 20	+ 40	− 5*
10	70	22	29	43	68						
	80	29	39	57	85	91	28	38	56	83	
	90	38	52	76	109	115	35	48	69	99	
	100	50	69	99	135	142	42	61	87	122	121
	110	66	90	125	165	172	58	78	109	147	147
	120	85	115	155	197	204	72	98	134	175	175
	130	108	145	189	232	240	90	121	162	206	206
	140	136	179	226	270	278	111	148	192	238	238
	150	170	217	265	311	319	136	178	226	274	274
	160	208	259	308	252	363	165	212	262	311	311
	170	251	304	354	401	410	197	248	301	351	351
	180						234	288	342	394	394
	190						274	331	386	439	439
	200						318	377	433	486	486
8	70	29	43	67	96	87					
	80	42	62	92	123	114	37	53	80	112	98
	90	59	86	120	154	144	50	73	104	139	123
	100	82	116	153	188	177	67	96	132	168	152
	110	112	151	189	225	215	89	124	163	201	184
	120	148	190	230	266	255	116	156	197	236	219
	130	190	233	273	311	300	148	191	234	275	257
	140	236	280	321	359	347	185	231	275	316	298
	150	287	331	372	410	399	226	274	319	361	342
	160	342	386	427	465	454	271	320	365	408	389
	170	400	446	485	524	512	320	369	415	458	440
	180						372	422	468	512	493
	190						428	478	524	568	549
	200						487	537	583	628	608
6	70	55	82	111	136	116					
	80	85	116	146	172	151	66	96	127	155	130
	90	123	156	186	213	192	95	129	162	191	166
	100	167	200	231	258	236	140	166	200	230	203
	110	216	250	280	308	286	171	208	242	273	246
	120	271	304	334	362	340	217	254	289	320	292
	130	330	363	393	422	399	267	305	339	371	343
	140	394	426	457	486	463	322	359	394	427	398
	150	463	495	525	554	531	381	418	453	486	456
	160	536	568	598	628	605	443	481	516	549	519
	170	614	646	676	706	683	510	547	582	616	586
	180						581	618	653	687	657
	190						556	694	728	762	732
	200						735	772	807	841	811

* Provjes pri −5° C uz dodatni teret leda, snijega i inja = 0,18 $\sqrt{d}$ kg/m (d — promjer užeta u mm)

Tablica provjesa za alučelična užeta **Ač 120/21** i **Ač 150/25** mm²

za najveća radna naprezanja 10 i 8 kp/mm²

σ_m kp/mm²	Raspon m	Ač 120/21 mm² — Provjes u cm pri temperaturi °C: — 20	0	+ 20	+ 40	— 5*	Ač 150/25 mm² — Provjes u cm pri temperaturi °C: — 20	0	+ 20	+ 40	— 5*
10	100	44	58	82	116		44	58	82	116	
	110	53	71	92	135	128	53	70	97	134	
	120	65	87	119	160	152	63	83	113	153	140
	130	80	106	143	186	178	76	100	135	178	164
	140	97	128	169	215	207	91	120	159	205	190
	150	116	153	198	246	237	108	142	185	233	218
	160	139	180	229	279	270	128	166	213	264	248
	170	164	210	262	324	305	150	193	244	290	280
	180	192	243	297	351	341	175	223	276	331	314
	190	224	278	335	390	380	203	255	311	367	350
	200	259	317	375	432	421	234	289	348	405	388
	210						267	326	386	445	427
	220						303	365	427	487	469
	230						342	406	470	531	513
	240						283	450	515	577	558
	250						428	495	562	625	605
	260						474	544	611	674	655
	270						523	594	661	726	706
	280						575	646	714	779	759
	290						628	700	769	835	815
	300						684	757	827	893	872
	320						801	870	948	1017	992
	340						928	1003	1076	1145	1119
	350						994	1070	1143	1212	1186
	400						1356	1432	1506	1577	1549
	450						1767	1849	1919	1991	1961
	500						2229	2306	2380	2454	2421
8	90	45	64	93	127	107	44	63	91	125	
	100	59	83	117	154	132	55	78	110	147	121
	110	76	106	144	183	160	71	98	135	174	147
	120	96	132	173	214	190	89	122	162	203	175
	130	121	161	205	248	223	110	148	192	235	206
	140	150	194	240	283	258	135	178	224	270	238
	150	182	230	278	323	296	164	210	258	305	273
	160	219	270	318	364	337	196	246	296	343	310
	170	259	312	361	408	381	231	284	335	384	350
	180	303	357	407	455	427	270	325	377	427	392
	190	350	404	456	504	475	312	368	422	472	437
	200	400	455	507	555	572	357	415	469	520	484

* Provjes pri –5° C uz dodatni teret leda, snijega i inja = $0{,}18\sqrt{d}$ kg/m. (d – promjer užeta u mm).

Tablica provjesa za alučelično uže Ač 240/40 mm²

za najveća radna naprezanja 10 i 8 kp/mm²

Raspon m	$\sigma_m = 10$ kp/mm²					$\sigma_m = 8$ kp/mm²				
	Provjes u centimetrima pri temperaturi °C									
	−20	0	+20	+40	−5 d*	−20	0	+20	+40	−5 d*
100	43	58	83	118		60	82	107	144	
120	62	83	114	155		79	111	150	191	
140	85	111	149	195		118	157	199	245	
160	113	146	189	239	208	166	212	261	310	264
180	151	192	242	297	263	225	277	331	383	333
200	195	246	303	363	325	295	352	409	463	411
220	249	307	370	434	393	375	435	495	552	498
240	311	376	444	510	468	464	528	590	648	593
260	382	453	524	593	549	564	630	693	753	696
280	462	537	611	682	636	672	740	804	866	807
300	550	628	704	777	730	790	858	924	986	927
320	646	726	805	880	832	913	980	1050	1111	1054
340	749	832	912	988	939	1042	1110	1181	1245	1185
360	859	944	1025	1102	1053	1180	1249	1320	1385	1320
380	977	1063	1145	1224	1173	1326	1398	1470	1535	1470
400	1101	1188	1271	1351	1300	1484	1556	1630	1697	1631
420	1233	1320	1405	1485	1433	1650	1722	1797	1864	1797
440	1372	1460	1544	1626	1573	1821	1900	1971	2039	1971
460	1517	1605	1690	1773	1720	2000	2079	2152	2220	2152
480	1669	1758	1843	1926	1873					
500	1828	1917	2003	2087	2033					

Tablica provjesa za ukrštavanja sa željezničkim prugama za alučelična užeta 35/6, 50/8, 150/25 i 240/40 mm²

Najveće radno naprezanje 5 kp/mm²

Raspon m	Ač 35/6 mm²			Ač 50/8 mm²			Ač 150/25 mm²			Ač 240/40 mm²		
	Provjes u centimetrima pri temperaturi °C											
	0	+20	+40	0	+20	+40	0	+20	+40	0	+20	+40
50	82	100	116							38	61	83
60	126	145	161	68	93	118				52	78	102
70	179	198	214	103	129	152				67	97	124
80	240	258	274	145	171	194				86	118	148
90	310	328	346	192	218	242				112	147	178
100	388	406	423	245	271	295	170	203	234	142	178	211
120	565	585	606	367	393	418	254	289	321	212	251	286
140	780	799	816	512	538	563	354	390	423	295	336	373
160							471	507	541	393	434	472
180							604	640	674	503	545	584
200							750	787	822	626	668	709

Za sva užeta u ovoj tablici je provjes pri −5° C uz dodatni teret $0{,}18\sqrt{d}$ manji od provjesa pri +40° C bez dodatnog tereta.

Dovoljno tačne vrijednosti za temperature između 0 i 40° C dobiju se interpolacijom, a za temperature između 0 i −10° C ekstrapolacijom.

* Uz dodatni teret leda, snijega i inja $= 0{,}18\sqrt{d}$ kg/m (d – promjer užeta u milimetrima).

226

Tablica provjesa za čelična užeta

Vrijedi za čelik Č II (ispitna čvrstoća 70 kp/mm²)

σ_m kp/mm²	Raspon m	Čelik 35 mm² — Provjes u centimetrima pri temperaturi °C: — 20	0	+ 20	+ 40	— 5d*	Čelik 50 mm² — Provjes u centimetrima pri temperaturi °C: — 20	0	+ 20	+ 40	— 5d*
14	60	31	43	58	73	71					
	70	49	65	82	101	97					
	80	73	91	113	129	126					
	90	104	124	146	163	160					
	100	140	161	183	200	198	115	135	155	176	169
	110	180	202	225	242	239	149	169	190	212	205
	120	224	247	268	288	284	187	208	229	251	244
	130	274	296	316	336	334	228	249	270	292	286
	140	328	350	370	391	387	273	295	317	339	332
	150	385	408	428	449	445	322	344	366	389	381
	160	446	467	490	511	506	374	396	419	442	434
	170	512	533	555	575	570	430	452	475	498	490
	180	580	603	623	643	641	489	512	534	558	550
	190	654	675	696	716	714	501	574	597	620	612
	200	731	752	774	795	791	617	640	663	687	679
	220	901	921	941	962	959	760	783	806	830	822
	240	1084	1104	1124	1145	1142	915	938	962	985	978
	260	1281	1301	1322	1343	1340	1086	1109	1133	1157	1149
	280	1496	1516	1537	1558	1555	1270	1293	1317	1341	1333
	300	1728	1748	1769	1790	1787	1468	1491	1515	1539	1531
16	60	23	33	45	60	62					
	70	37	48	65	82	85					
	80	54	70	89	108	111					
	90	77	97	117	137	140					
	100	105	127	149	170	173	83	104	126	148	146
	110	138	162	185	206	209	109	132	156	179	177
	120	176	199	222	245	249	139	165	189	212	210
	130	218	242	266	289	292	172	199	225	249	247
	140	264	289	313	336	339	210	238	264	288	286
	150	314	338	362	385	389	251	279	305	331	329
	160	368	392	416	439	443	296	324	350	376	374
	170	424	449	473	496	500	342	370	398	425	422
	180	485	510	534	557	560	393	421	449	476	474
	190	549	573	597	620	624	447	475	503	530	528
	200	616	640	664	688	692	503	531	559	586	584
	220	761	785	809	832	837	640	669	696	723	721
	240						778	806	833	860	859
	260						927	955	983	1009	1008
	280						1087	1115	1144	1171	1169
	300						1261	1289	1317	1344	1343

* Provjes pri -5^0 C uz dodatni teret leda, snijega i inja = $0{,}18\sqrt{d}$ kg/m (d – promjer užeta u milimetrima).

Tablica provjesa za čelična užeta (nastavak)

Vrijedi za čelik Č II (ispitna čvrstoća 70 kp/mm²)

σ_m kp/mm²	Raspon m	Čelik 35 mm²					Čelik 50 mm²				
		Provjes u centimetrima pri temperaturi °C									
		— 20	0	+ 20	+ 40	— 5d*	— 20	0	+ 20	+ 40	— 5d*
20 za 35mm² / 21 za 50mm²	80	35	45	58	75	90					
	90	49	61	78	97	113					
	100	65	81	100	123	140	51	63	79	99	111
	110	85	104	127	151	169	65	80	99	121	135
	120	109	132	157	182	201	81	99	121	146	160
	130	138	164	190	217	236	100	122	147	173	188
	140	171	199	227	254	274	123	147	174	202	218
	150	209	238	266	294	314	153	180	208	238	255
	160	250	280	309	336	357	183	212	243	273	290
	170	294	325	354	382	403	214	246	278	309	328
	180	342	373	403	431	452	241	274	307	339	358
	190	392	424	453	482	504	289	324	357	390	410
	200	447	478	508	536	558	330	365	399	433	454
	220	563	594	624	653	675	428	463	497	529	549
	240	691	722	752	780	803	528	564	599	634	654
	260	829	860	890	919	943	640	677	712	747	767
	280	980	1011	1041	1070	1093	759	796	832	867	888
	300	1142	1173	1203	1232	1255	891	928	964	1000	1021
	320						1031	1068	1104	1140	1161
	340						1180	1218	1254	1290	1311
	360						1359	1376	1412	1448	1470
24	100	46	56	70	88	117	41	49	60	75	99
	110	59	72	89	109	141	50	61	75	91	120
	120	75	90	110	134	163	60	76	92	111	143
	130	93	112	135	161	197	76	92	110	134	168
	140	115	137	163	191	228	90	111	133	158	194
	150	140	166	194	223	262	112	133	158	185	223
	160	169	198	228	257	298	135	160	188	216	254
	170	202	233	265	296	336	158	188	213	243	286
	180	238	271	304	336	377	182	212	244	276	321
	190	278	312	346	378	420	214	247	280	315	358
	200	321	356	390	423	485	248	282	318	353	396
	220	415	451	486	520	562	323	360	398	435	480
	240	520	557	593	627	669	406	446	486	556	570
	260	636	673	708	743	786	505	545	585	623	670
	280	761	798	834	869	911	608	648	688	728	776
	300	897	934	970	1004	1046	720	760	800	840	891
	320	1028	1060	1098	1131	1179	835	876	921	960	998
	340						962	1009	1047	1088	1128
	360						1102	1144	1188	1224	1267
	380						1250	1292	1330	1368	1413
	400						1404	1440	1488	1528	1568

* Provjes pri –5° C uz dodatni teret leda, snijega i inja = $0{,}18 \sqrt{d}$ kg/m (d – promjer užeta u milimetrima).

227 Provjesi za alučelična i čelična užeta za vodove 220 kV

σ_m kp/mm²	Raspon m	Provjes u cm pri temperaturi °C									
		— 20	0	+ 20	+ 40	— 5 led	— 20	0	+ 20	+ 40	— 5 led
		Ač 360/57, led 1×0,18 $\sqrt{d}$ kg/m					Ač 360/57, led 1,6×0,18 $\sqrt{d}$ kg/m				
9	100						48	66	95	132	
	150	111	146	190	238	185	119	157	203	253	219
	200	213	266	325	384	321	253	312	371	428	390
	250	369	438	505	571	501	453	522	588	650	608
	275	467	540	611	680	607	577	648	716	781	736
	300	576	652	728	800	723	713	787	854	923	876
	325	694	774	852	926	846	863	938	1006	1073	1028
	350	827	905	987	1064	982	1025	1098	1172	1240	1192
	375	969	1052	1133	1211	1127	1201	1276	1347	1417	1370
	400	1124	1211	1292	1370	1285	1390	1465	1537	1605	1557
	450	1462	1543	1633	1712	1625	1800	1875	1950	2020	1975
	500	1842	1932	2022	2100	2010	2271	2347	2417	2488	2442
	550	2260	2345	2430	2520	2430	2781	2860	2936	3004	2957
	600	2727	2813	2901	2987	2897	3344	3425	3496	3567	3521
5	125	165	208	249	285	226					
	150	261	305	353	392	325	329	370	409	445	394
	175	374	422	470	510	442	470	512	552	589	536
	200	510	558	607	649	578	634	674	716	754	701
	225	662	712	758	804	731					
		Č. III 95 mm², led 1×0,18 $\sqrt{d}$ kg/m					Č. III 95 mm², led 1,6×0,18 $\sqrt{d}$ kg/m				
25	100	39	47	57	71		40	48	59	73	94
	150	92	108	129	154	165	107	127	152	180	211
	200	183	211	244	278	293	232	266	302	338	375
	250	319	359	399	441	457	423	464	505	545	585
	275	404	447	491	536	553	542	585	626	667	708
	300	501	548	594	640	658	673	716	759	799	843
	325	610	658	707	754	773	818	861	905	946	989
	350	728	778	828	877	896	975	1017	1060	1102	1147
	375	856	907	958	1008	1029	1144	1187	1230	1272	1317
	400	996	1048	1100	1150	1170	1324	1368	1411	1453	1498
	450	1300	1355	1408	1460	1481	1717	1763	1808	1852	1896
	500	1646	1701	1755	1808	1829	2165	2209	2251	2295	2341
	550						2663	2708	2752	2796	2842
	600						3205	3250	3294	3338	3385
14	125	125	176	202	226	204					
	150	232	260	288	314	294	314	339	363	385	377
	175	330	360	390	416	400	448	473	498	521	512
	200	456	486	516	544	522	604	628	654	678	669

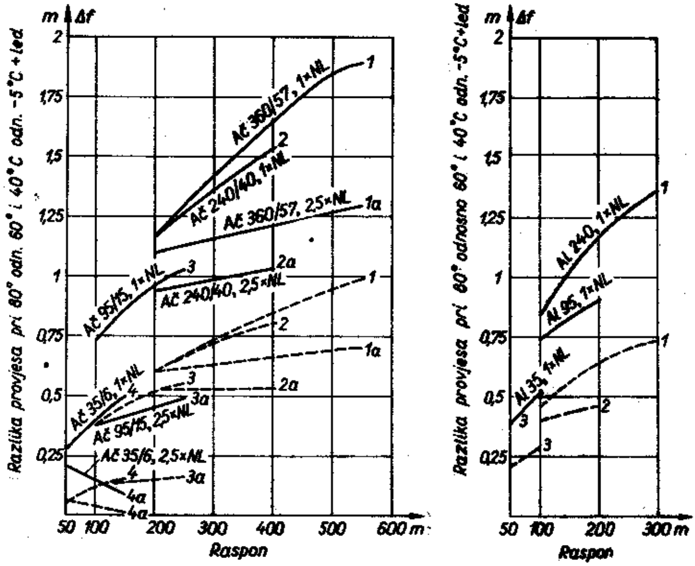
Fusnote sa strane 373: * Vodiči će se rijetko ugrijati na 30° C jer je za to potrebno da budu istovremeno ispunjena 3 nepovoljna uvjeta: a) maksimalno opterećenje vodiča, b) temperatura neopterećenog užeta zbog temperature okoline i insolacije 40° C, c) vrijeme bez vjetra.

** Prema B. Markovčić, Ugrijavanje vodiča (mehanički aspekt), rad Instituta za elektroprivredu Zagreb, 1962. god., i B. Markovčić, Sigurnosne visine vodiča pri povišenim temperaturama, »Elektroprivreda« br. 3/4 — 1963, str. 161.

Provjes ugrijanih vodiča nadzemnih vodova

228

Visinu zavješenja vodiča, a prema tome i visinu stupova određuje najveći provjes kojim se, prema jugoslavenskim »Tehničkim propisima za gradnju nadzemnih vodova jake struje«, smatra veći od provjesa pri +40° C bez dodatnog tereta ili pri —5° C sa dodatnim teretom. Međutim, prema 206, strana 339 vodiči nadzemnih vodova smiju se električki tako opteretiti da se pri temp. okoline +40° C zagriju za 40° C, tj. na +80° C. Dijagrami dolje* pokazuju razlike provjesa pri +80° C odn. +60° C i provjesa pri +40° C odn. —5° C + led (dodatni teret od leda snijega i inja), lijevi dijagram za alučelična užeta desni za aluminijska užeta.



——— Razlika provjesa pri 80°C i provjesa pri 40°C (odn. −5°C + led)

– – – Razlika provjesa pri 60°C i provjesa pri 40°C (odn. −5°C + led)

NL — normalni led = normalni dodatni teret ledom, snijegom i injem = 0,18 $\sqrt{d}$ kp/m (d — promjer užeta u milimetrima), vidi 208, strana 341.

Gornji dijagrami** pokazuju da je razlika u provjesu općenito to veća što je veći presjek i veći raspon, a to manja što je veći normalni dodatni teret. Razlika u provjesu to je veća što je veće maksimalno radno naprezanje vodiča.

Ako uzmemo da je Ač 35/6 »normalno« uže za vodove 10 kV, Ač 95/15 za vodove 35 kV, Ač 240/40 za vodove 110 kV, a Ač 360/57 za vodove 220 kV te da bismo i uz ugrijana užeta željeli još uvijek imati propisanu visinu vodova nad tlom i drugim objektima, trebalo bi stupove povisiti za približno ove vrijednosti:

Nazivni napon voda	Maksimalna temperatura vodiča 80° C		Maksimalna temperatura vodiča 60° C	
	1× normalni dodatni teret	2,5× normalni dodatni teret	1× normalni dodatni teret	2,5× normalni dodatni teret
10 kV	50 cm	20 cm	20 cm	10 cm
35 kV	100 cm	60 cm	50 cm	20 cm
110 kV	160 cm	80 cm	80 cm	60 cm
220 kV	200 cm	100 cm	100 cm	70 cm

* i ** Vidi fusnote na strani 372.

229 Opterećenje stupova nadzemnih vodova

Prema Tehničkim propisima za gradnju nadzemnih vodova jake struje

Vrsti stupova: Noseći stupovi: Vodiči i zaštitna užeta nisu na njih kruto pričvršćeni. Linijski noseći stup opterećen je samo vertikalnim silama, a kutni noseći stup još i rezultantom zatezanja vodiča i zaštitnih užeta. Preporučuje se da se na vodovima s ovjesnim izolatorima ne upotrebljavaju kutni noseći stupovi na mjestima gdje kut skretanja trase iznosi više od 20°.

Zatezni stupovi: Vodiči i zaštitna užeta su na njih kruto učvršćeni pa se na stup direktno prenosi zatezanje svakog vodiča i zaštitnog užeta sa svake strane stupa. Duljina zateznog polja (tj. razmak između dva zatezna stupa) neka u pravilu ne prekorači 5 km niti ne obuhvati više od 30 raspona.

Slučajevi opterećenja: Za proračun pojedinog dijela stupa treba odabrati onaj od niže navedenih slučajeva opterećenja koji uzrokuje najveće naprezanje u tom dijelu. (Ne uzima se da razni slučajevi opterećenja djeluju istovremeno.)

Vrst stupova		Normalni slučajevi opterećenja				Izvanredni slučajevi opterećenja[1])	
Noseći stupovi	linijski	A	B	C	–	E	–
	kutni[2])	A	B	C	–	–	F
Zatezni stupovi		A	B	C	D	–	F

Slučaj A: Težina stupa, izolatora, pribora, vodiča i zaštitnih užeta; težina dodatnog tereta na vodičima i zaštitnim užetima; rezultanta punog zatezanja (vlaka) svih vodiča i zaštitnih užeta s obje strane stupa.

Slučaj B: Težina stupa, izolatora, pribora, vodiča i zaštitnih užeta; pritisak vjetra na stup i na sve vodiče i zaštitna užeta okomito na vod odnosno u smjeru simetrale kuta trase; rezultanta od dvije trećine zatezanja svih vodiča i zaštitnih užeta s obje strane stupa.

Slučaj C: Težina stupa, izolatora, pribora, vodiča i zaštitnih užeta; pritisak vjetra na stup i na sve vodiče i zaštitna užeta u smjeru voda odnosno okomito na simetralu kuta trase; rezultanta od dvije trećine zatezanja svih vodiča i zaštitnih užeta s obje strane stupa.

Slučaj D: Težina stupa, izolatora, pribora, vodiča i zaštitnih užeta, dvije trećine zatezanja svih vodiča i zaštitnih užeta s jedne strane stupa.

Slučaj E: Težina stupa, izolatora, pribora, vodiča i zaštitnih užeta; težina dodatnog tereta na vodičima i zaštitnim užetima; polovina zatezanja jednog vodiča ili jednog zaštitnog užeta s jedne strane stupa, a ako su vodiči u snopu, tada $1/4$ vlaka svih vodiča jednog snopa.

Slučaj F: Težina stupa, izolatora, pribora, vodiča i zaštitnih užeta; težina dodatnog tereta na vodičima i zaštitnim užetima; puno zatezanje svih vodiča i zaštitnih užeta u oba smjera trase osim jednog vodiča odnosno jednog zaštitnog užeta s jedne strane stupa, a kod vodova s vodičima u snopu vlak svih snopova vodiča i zaštitnih užeta u oba smjera trase osim jednog snopa odnosno jednog zaštitnog užeta s jedne strane stupa.

---

[1]) Kad je jedan vodič ili jedno zaštitno uže s jedne strane stupa prekinuto.
[2]) Kut skretanja trase veći od 5°.

Opterećenje stupova (nastavak)

Težinu vodiča i zaštitnih užeta i težinu dodatnog tereta treba računati prema gravitacionom rasponu, tj. prema udaljenosti od najniže tačke lančanice s jedne strane stupa do najniže tačke lančanice s druge strane stupa.

Pritisak vjetra na vodiče i zaštitna užeta u smjeru simetrale kuta trase uzima se na poluzbroj susjednih raspona bez ikakvih redukcija s obzirom na kut trase.

Pritisak vjetra na vodiče i zaštitna užeta okomito na simetralu kuta trase uzima se na poluzbroj susjednih raspona sa redukcijom s obzirom na položaj vodiča i zaštitnih užeta prema smjeru vjetra, ali se uzima najmanje jednak četvrtini pritiska u smjeru simetrale kuta trase.

Gdje nije definirano o kojem se vodiču odnosno zaštitnom užetu ili o kojoj se strani stupa radi uzima se ono što je nepovoljnije.

Dimenzioniranje drvenih stupova **230**

1. Pretpostavka za proračun čvrstoće: povećanje promjera od tanjeg kraja iznosi 0,8 cm po metru duljine.

2. Debljina jednostrukih linijskih stupova na vrhu može se izračunati po približnoj formuli:

$$D = 0{,}65\,l + k\sqrt{a\Sigma d} \quad \text{cm}^{1)}$$

l - ukupna duljina stupa u m, a - raspon u m, Σd - suma promjera d svih vodiča na stupu u mm, $k = 0{,}22$ za četinare, $k = 0{,}19$ za liščare.

3. Naprezanje stupa na izvijanje treba kontrolirati prema formulama na strani 141 dolje (ω - postupak).

4. Za A-stupove, trokrake i četvorokrake piramide, stupove s nogarima, zaklinjene i nezaklinjene dvojne stupove vidi stranu 142 dolje.

5. Najmanja dozvoljena debljina drvenih stupova na vrhu (prema »Tehničkim propisima za gradnju nadzemnih vodova jake struje«):

a) Za vodove visokog napona

Jednostruki stupovi i opterećeni elementi složenih stupova	16 cm
Pomoćni elementi složenih stupova	14 cm
A - stupovi i zaklinjeni dvojni stupovi	15 cm
Nogari	18 cm

b) Za vodove niskog napona

Jednostruki i poduprti stupovi	13 cm
A - stupovi i zaklinjeni dvojni stupovi	12 cm
Stupovi za ogranke vodova samo sa 2 vodiča	12 cm
Nezaklinjeni dvojni stupovi	10 cm

---

[1] Debljina stupova D mjeri se u stvari 30 cm ispod vrha, a određuje se na osnovu izmjerenog obujma (debljina stupa = promjer : 3,14).

231 Dopuštena naprezanja drveta za drvene stupove

Prema »Tehničkim propisima za gradnju nadzemnih vodova jake struje«

Vrst naprezanja	Najviše dopušteno naprezenje u kp/cm² za	
	meko drvo	tvrdo drvo
Zatezanje, pritisak u smjeru vlakanaca, savijanje	150	190
Pritisak okomito na smjer vlakanaca	40	50
Odrez (smicanje) u smjeru vlakanaca	15	20
Odrez (smicanje) okomito na smjer vlakanaca	30	40

Pretpostavka za vrijednosti u tablici je ova prekidna čvrstoća drveta:
— za meko drvo (npr. bor, jela, smreka) . . . . . . 550 kp/cm²
— za tvrdo drvo (npr. pitomi kesten, bagrem, hrast) . . . 850 kp/cm²
Za izvanredna opterećenja voda (vidi 229) mogu se vrijednosti u tablici prekoračiti za 25%.

232 Normalni drveni stupovi prema JUS D.B2.020/1955

1. Mjere

Duljina	Debljina pri vrhu*		Duljina	Debljina pri vrhu*		Duljina	Debljina pri vrhu*	
	lišćari	četinari		lišćari	četinari		lišćari	četinari
m	cm	cm	m	cm	cm	m	cm	cm
6	12	14	8	13	15	12	17	17
6,5	12	—	9	14	15	13	18	18
7	12	14	10	15	16	14	18	18
7,5	13	—	11	16	16	15	19	19

Dozvoljena razlika u duljini stupova do 9 m: ± 5 cm, stupova: > 9 m ± 10 cm.

Dozvoljena razlika u debljini stupova do 9 m: ± 1 cm, stupova > 9 m: + 3 — 1 cm.

2. Vrsti drveta. Za stupove se upotrebljavaju ove vrsti drveta: Četinari: bor, smreka, jela, ariš. Lišćari: pitomi kesten, bagrem, sve vrsti hrasta.

3. Sječa. Drvo mora biti od zimske sječe, osim za impregnaciju po sistemu Boucherie, za koju moraju debla biti od ljetnje sječe dobavljena pod korom najkasnije 10 dana nakon sječe.

4. Uvjeti. Stupovi moraju biti zdravi, jedri, sa što manje kvrga i slepica, bez raspuklina, okružljivosti i bušotina od insekata. Gornja 2 metra moraju biti potpuno ravna. Na donjem kraju moraju biti ravno odrezani, a na gornjem odsječeni u obliku piramide. Visina piramide iznosi ½ do ⅓ promjera na vrhu. Dozvoljene griješke: a) Zakrivljenost, ako se spojnica središta oba debla nalazi unutar debla; b) srednja usukanost; c) velike kvrge glatko otesane do 50 mm s tim da na 1 m od vrha ne smije biti kvrga; d) do 5% mušičavih komada. Promjer na debljem kraju stupova do 10 m treba da je približno za ⅙ veći od promjera na tanjem kraju, a stupova preko 10 m duljine mora biti barem za ¼ veći.

---

* Mjeri se 30 cm ispod vrha, a određuje se na osnovu izmjerenog obujma (debljina stupa = promjer : 3,14).

Volumen drvenih stupova

a) Za prirast debljine 0,7 cm po metru duljine stupa

Debljina stupa 30 cm od vrha*	Volumen drvenih stupova u m³ za duljinu stupa								
	7 m	8 m	9 m	10 m	11 m	12 m	13 m	14 m	15 m
9 cm	0,07	0,08	0,10	0,12	0,14	0,16	0,18	0,21	0,23
10 cm	0,08	0,10	0,12	0,14	0,16	0,18	0,21	0,24	0,27
11 cm	0,10	0,12	0,14	0,16	0,19	0,21	0,24	0,27	0,30
12 cm	0,11	0,13	0,16	0,18	0,21	0,24	0,27	0,31	0,34
13 cm	0,13	0,15	0,18	0,21	0,24	0,27	0,31	0,34	0,38
14 cm	0,15	0,17	0,20	0,23	0,27	0,31	0,34	0,38	0,43
15 cm	0,16	0,19	0,23	0,26	0,30	0,34	0,38	0,43	0,47
16 cm	0,18	0,22	0,25	0,29	0,33	0,38	0,42	0,47	0,52
17 cm	0,20	0,24	0,28	0,32	0,37	0,42	0,46	0,52	0,57
18 cm	0,22	0,27	0,31	0,36	0,40	0,46	0,51	0,57	0,62
19 cm	0,25	0,29	0,33	0,39	0,44	0,50	0,56	0,62	0,68
20 cm	0,27	0,32	0,37	0,43	0,48	0,54	0,61	0,67	0,74
21 cm	0,30	0,35	0,41	0,46	0,53	0,59	0,66	0,73	0,80
22 cm	0,32	0,38	0,44	0,50	0,57	0,64	0,71	0,78	0,86
23 cm	0,35	0,41	0,48	0,54	0,62	0,69	0,76	0,84	0,93

b) Za prirast debljine 0,9 cm po metru duljine stupa

Debljina stupa 30 cm od vrha*	Volumen drvenih stupova u m³ za duljinu stupa								
	7 m	8 m	9 m	10 m	11 m	12 m	13 m	14 m	15 m
9 cm	0,08	0,10	0,12	0,14	0,16	0,19	0,22	0,25	0,29
10 cm	0,09	0,11	0,14	0,16	0,19	0,22	0,25	0,29	0,33
11 cm	0,11	0,13	0,16	0,18	0,22	0,25	0,28	0,32	0,37
12 cm	0,12	0,15	0,18	0,21	0,24	0,28	0,32	0,36	0,41
13 cm	0,14	0,17	0,20	0,24	0,27	0,31	0,36	0,40	0,45
14 cm	0,16	0,19	0,23	0,27	0,31	0,35	0,40	0,45	0,50
15 cm	0,18	0,21	0,25	0,30	0,34	0,39	0,44	0,48	0,55
16 cm	0,20	0,24	0,28	0,33	0,37	0,43	0,48	0,54	0,60
17 cm	0,22	0,26	0,31	0,36	0,41	0,49	0,53	0,59	0,66
18 cm	0,24	0,29	0,34	0,39	0,45	0,51	0,57	0,64	0,72
19 cm	0,27	0,32	0,37	0,43	0,49	0,56	0,62	0,70	0,78
20 cm	0,29	0,35	0,40	0,47	0,53	0,60	0,68	0,75	0,84
21 cm	0,32	0,38	0,44	0,50	0,58	0,65	0,73	0,81	0,90
22 cm	0,34	0,41	0,47	0,54	0,62	0,70	0,78	0,87	0,97
23 cm	0,37	0,44	0,51	0,59	0,67	0,75	0,84	0,94	1,02

* Vidi fusnotu na prethodnoj strani. Za proračun čvrstoće stupa računa se sa prirastom debljine 0,8 cm po m duljine stupa. Volumen stupa za taj prirast može se dobiti kao srednja vrijednost iz gornjih dviju tablica.

234 Dopuštena naprezanja metala za stupove električnih nadzemnih vodova

Prema Tehničkim propisima za gradnju nadzemnih vodova jake struje (Službeni list FNRJ br. 24/60)

1. Čelik

Vrst naprezanja	Konstrukcioni dio	Materijali	Dozvoljeno naprezanje kp/cm² Normalno opterećenje	Izvanredno opterećenje
Zatezanje		Č.37 Č.45 (cijevi) Č.52	1600 2000 2400	2200 2600 3000
Odrez (smicanje)	Zakovice	Č.34 Č.44	1600 2000	2200 2500
	Obrađeni vijci	Č.38 Č.52	1280 1900	1750 2400
	Neobrađeni vijci	Č.38 Č.52	1100 1700	1500 2100
Bočni tlak (obodni pritisak)	Zakovice i obrađeni vijci	Č.34 i Č.38 Č.44 i Č.52	4000 4800	5500 6000
	Neobrađeni vijci	Č.38 Č.52	2500 3700	3400 4600
Zatezanje	Obrađeni i neobrađeni vijci	Č.38 Č.52	1100 1650	1650 2250

Dozvoljena naprezanja za cijevi od Č.35 i Č.55 dobiju se ovako:
Za cijevi od Č.35: 0,95 × dozvoljeno naprezanje za Č.37.
Za cijevi od Č.55: 1,05 × dozvoljeno naprezanje za Č.52.

Dozvoljeno naprezanje vara u postocima dozvoljenog naprezanja materijala koji se spaja zavarivanjem: a) Var na sučeljak: zatezanje 75%, tlak 85%, savijanje 80%, smicanje 65%. b) Var u uvali (za sve vrsti naprezanja): 65%.

Elementi napregnuti na tlak izračunavaju se po ω-postupku (v. **56/16f**).

VDE 0210/5.62 sadrži jednake vrijednosti za Č.37 (St 37.12), **Č.34** (St 34.13) i Č.38 (St 38.13). Za ostale materijale ne navodi ništa.

2. Aluminijske legure

	AlCu 4Mg	Al Mg Si		Al Mg 3	
Zatezna čvrstoća (prekidna) kp/mm²	40	28	32	18	23
Dozvoljeno naprezanje dijelova stupa					
za normalno opterećenje kp/cm²	1500	1000	1500	470	820
za izvanredno opterećenje kp/cm²	1700	1200	1700	530	940

Dozvoljena naprezanja zakovica i vijaka od aluminijskih legura vidi u Tehničkim propisima.

1) Zahtjevi na mehaničku čvrstoću

»Tehnički propisi za gradnju nadzemnih vodova jake struje« (Služb. list FNRJ br. 24/60) traže da ovjesni materijal nosećih i zateznih lanaca nema manju mehaničku čvrstoću od ostalih dijelova izolatorskog lanca.

Propisi VDE (»Vorschriften für den Bau von Starkstrom-Freileitungen« — »Propisi za gradnju nadzemnih vodova jake struje«, VDE 0210/5.62) traže da krajnji vezovi i armature zateznih lanaca izdrže bez spomena vrijedne deformacije teret jednak 90% nazivnog tereta vodiča. (Nazivni teret vodiča vidi u tablicama 200 i 202.) Ako se prekine jedan lanac višestrukog lanca, moraju ostali dijelovi izdržati barem dvostruki najveći vlak vodiča. (Najveći vlak vodiča = najveće radno naprezanje × stvarni odnosno izradbeni presjek vodiča.) Ovjesne stezaljke moraju držati zaleđene vodiče (eventualno i sa izolatorima) uz koeficijent sigurnosti barem 2.

Prema talijanskim normama (»Norme per la morsetteria per linee elettriche aeree per trasporto d'energia« — »Norme za ovjesni materijal za električne nadzemne vodove za prijenos energije« — norme 7—9, svezak broj 129, izdanje 11—1958) ovjesni i spojni materijal mora imati ovu mehaničku zateznu čvrstoću MZČ u % od minimalne prekidne čvrstoće vodiča PČV:

Ovjesni ili spojni materijal	MZČ u % od PČV
Kompletna oprema lanaca za	
jednostruki ovjesni lanac	prelom 60
dvostruki ili višestruki ovjesni lanac	prelom 80*
dvostruki ovjesni lanac u šiljku	prelom 110*
jednostruki zatezni lanac	prelom 110
dvostruki ili višestruki zatezni lanac	prelom 130**
Ovjesne stezaljke za vodiče ili zaštitna užeta	prelom 60 isklizнuće 25
Nosači zaštitnog užeta	prelom 80 isklizнuće 50
Zatezne stezaljke za vodiče ili zaštitna užeta	prelom 100 isklizнuće 90
Spojnice za vodiče ili zaštitna užeta	isklizнuće 90
Strujne stezaljke (rasterećeni spoj)	isklizнuće 20

Jugoslavenski proizvođači (»Dalekovod« Zagreb i »Energoinvest« Sarajevo) proizvode ovjesni materijal po talijanskim licencama.

2) Zahtjevi na pocinčanje

Jugoslavenski Tehnički propisi ne postavljaju određene zahtjeve na pocinčanje.

Propisi VDE 0210/5.62 preporučuju cinčanje u vatri, ali dopuštaju i galvansko cinčanje kao i cinčanje štrcanjem. Galvanski se često cinčaju vijci i matice; ako se cinčaju u vatri, narez se smije naknadno ponovo rezati da se

* Kod prekida 60% od PČV za jedan sam lanac.
** Kod prekida 65% od PČV za jedan sam lanac.

Zahtjevi na ovjesni materijal za vodove visokog napona (nastavak)

matica može naviti. Debljina sloja dijelova pocinčanih u vatri mora iznositi barem 60 do 70 mikrona, a u vatri pocinčanih vijaka i matica M 16 i manjih barem 40 do 50 mikrona. Jednolikost pocinčanja ispituje se umakanjem u zasićenu otopinu modre galice[1] (gustoća 1,19 pri 20° C). Pritom dijelovi pocinčani galvanski ili štrcanjem moraju izdržati 3 umakanja, u vatri pocinčani vijci i matice M 16 i manji barem 5 umakanja, svi ostali u vatri pocinčani dijelovi barem 7 umakanja od 1 minute.

Talijanske norme (»Norme par il controllo della zincatura a caldo« — »Norme za kontrolu pocinčanja u vatri« — norme 7—6, svezak 75, izdanje V—1953) traže da ovjesni materijal bude tako pocinčan da naslaga cinka iznosi:

a) Za dijelove od normalnog liva, temprovanog liva ili čeličnog liva; za valjane, vučene, prešane ili kovane dijelove od čelika (osim onih pod b i c): srednje 550, minimalno[2]) 500 g/m².

b) Za zatike, svornjake, vijke i pripadne matice 10 mm promjera i veće te slične dijelove: srednje 380, minimalno[2]) 340 g/m².

c) Za dijelove kao pod b) ali promjera do 10 mm: srednje 275, minimalno[2]) 245 g/m².

Jednolikost pocinčanja kontrolira se prema talijanskim normama po Preeceovoj metodi (vidi 204) umakanjem u otopinu modre galice gustoće 1,186 pri 18° C. Minimalni broj umakanja od 1 min. iznosi za dijelove pod a) 7 odn. 4, za dijelove pod b) 6 odn. 3, za dijelove pod c) 4 (prvi broj za dijelove u normalnom stanju, drugi broj za dijelove nakon kovanja).

236 Zahtjevi na izolatore s obzirom na električku sigurnost

Izolator odnosno izolatorski lanac kompletno montiran kao na vodu (dakle i s eventualnom zaštitnom armaturom) mora izdržati ispitni napon prema ovoj tablici:

Napon mreže		Podnosivi napon 50 Hz, 1 min na kiši		Podnosivi udarni napon	Napon mreže		Podnosivi napon 50 Hz, 1 min na kiši		Podnosivi udarni napon
nazivni	maksimalni	JTP	VDE	JTP	nazivni	maksimalni	JTP	VDE	JTP
kV	kV	kV	kV	kV	kV	kV	7V	kV	kV
3	3,6	16	27	45	60	72,5	140	152	325
6	7,2	22	33	60	110 Z	123 Z	185	210	450
10	12	28	42	75	110	123	230	265	550
20	24	50	64	170	220 Z	245 Z	395	405	900
35	38	70	86	325	220	245	460	505	1050

JTP — Jugoslavenski »Tehnički propisi za gradnju nadzemnih vodova jake struje« (Služb. list FNRJ br. 24/60). Vidi i ispitne napone u 44.

VDE — Propisi VDE 0111/2.61 (Smjernice za dimenzioniranje i ispitivanje izolacije električnih postrojenja za izmjenične napone od 1 kV i više). U tim propisima vidi i ispitne udarne napone VDE. Vidi to i u 45.

Z — Mreža odnosno vod sa kruto uzemljenom nultačkom.

---

1) Vidi 204, str. 336.

2) Za pojedine uzorke.

Vrijednosti u tablici vrijede za 760 mm Hg, +20° C, vlaga 11 g/m³.

Udarnim naponom ispituje se samo u suhom. Često se u katalozima izolatora ne navodi podnosivi udarni napon nego 50%-tni preskočni udarni napon, tj. onaj napon koji uzrokuje 50% preskoka. Grubo se može uzeti da je 50%-tni preskočni udarni napon oko 10% viši od podn. udarnog napona.

Za dijelove voda na većim nadmorskim visinama treba vrijednosti u tablici povećati množenjem ovim faktorima:

Nadmorska visina	do 1000	1000 do 1500	1500 do 2000	2000 do 2500 m
Faktor povećanja	1,000	1,075	1,150	1,225

Na dijelovima voda u predjelima većeg zagađivanja zraka (npr. u blizini talionica, morske obale ili slično) treba uzeti izolatore ili izolatorske lance većeg podnosivog napona nego prema gornjoj tablici ili upotrijebiti izolatore sa duljom kliznom stazom, i to u skladu s vrsti i stepenom zagađivanja.

Pojačana izolacija (povećana elektr. sigurnost) voda

Smatra se da je izolacija električki pojačana ako se postavljaju izolatori ili izolatorski lanci čiji je izmjenični podnosivi napon (50 Hz, 1 min) oko 15% viši od podnosivog napona na ostalom dijelu voda. To se primjenjuje samo za vodove visokog napona, i to u ovim slučajevima:

1. kad vod prelazi preko željezničke pruge, i to na križišnim stupovima u križišnom polju i na svim međustupovima;
2. kad vod prelazi preko PTT voda;
3. kad vod prelazi preko objekta gdje se traži povećana električka sigurnost (prelaz preko autoputova, putova I do IV reda, prelaz preko plovnih rijeka i rijeka na kojima je moguće splavarenje, tramvajskih i trolejbusnih pruga, dijelova zgrada, sportskih igrališta, žičara, drugih vodova visokog ili niskog napona, zemljišta u naseljenim mjestima; vidi 250);
4. kad na lance stalno djeluje puni linijski napon (npr. na prepletnim stupovima)*;
5. kad su izolatorski lanci otklonjeni od vertikale više od 45° (npr. lanci na zateznim ili kutnim stupovima)**.
6. Prema austrijskim propisima (ÖNORM E 4119; naši propisi ni propisi VDE to ne traže) na uzemljenim čeličnim stupovima i na uzemljenim stupovima od armiranog betona kad su takvi stupovi ugrađeni u vod koji je inače građen na drvenim stupovima.

Preskočni napon lanaca sa zaštitnim armaturama

Preskočne napone lanaca treba ispitati kompletno opremljene ovjesnim materijalom i onim zaštitnim armaturama koje će se upotrijebiti za dotični vod. Ako za takvo ispitivanje nema mogućnosti, može se preskočni napon sa zaštitnim armaturama odrediti po ovim podacima:

a) Preskočni izmjenični napon (50 Hz) smanjuje se u suhom za oko 50 kV, a po kiši za oko 30 kV prema vrijednostima iz tablice 241.

b) 50%-tni preskočni udarni napon U_{pu}:

Za kapaste (K) i masivne (M odn. VK): $U_{pu} = 65 + 5{,}2s$ kilovolta.

Za štapaste izolatore (L odn. VKL): $U_{pu} = 50 + 5{,}7s$ kilovolta, gdje je s preskočna daljina između zaštitnih armatura u cm.

---

* JTP ovo izričito ne traže.

** JTP ni ovo ne traže izričito. Ovo i nije pojačana izolacija jer izolatorski lanac u kosom ili horizontalnom položaju ima manji podnosivi napon. U duhu propisa trebalo bi ispitne napone narinuti na ovakve lance u položaju u kojem će lanci stajati u pogonu.

237 Zahtjevi na izolatore s obzirom na mehaničku sigurnost prema jugoslavenskim tehničkim propisima iz 1960. god.

a) Potporni izolatori

Potporni izolatori na nosećim stupovima moraju imati najmanju prekidnu čvrstoću koja je barem 2,5 puta veća od težine vodiča sa dodatnim teretom, dok oni na zateznim stupovima barem 2,5 puta veću od zatezanja (vlaka) vodiča.

Propisi VDE traže da srednje prekidno opterećenje potpornih izolatora na nosećim stupovima bude barem jednako trostrukom teretu zaleđenih vodiča kao i barem jednako trostrukom opterećenju zbog pritiska vjetra. Srednje prekidno opterećenje u zateznom položaju mora biti barem jednako trostrukom iznosu najvećeg zatezanja vodiča.

b) Kapasti izolatori

Kapasti izolatori odnosno lanci od kapastih izolatora na nosećim stupovima moraju imati elektromehaničku čvrstoću koja je barem 3 puta veća od težine vodiča sa dodatnim teretom, a na zateznim stupovima barem 3 puta veća od zatezanja (vlaka) vodiča.

Propisi VDE imaju jednake odredbe, ali traže četvorostruku, a ne trostruku sigurnost.

c) Masivni i štapasti izolatori

Masivni i štapasti izolatori odnosno lanci od masivnih ili štapastih izolatora na nosećim stupovima moraju imati najmanju prekidnu čvrstoću koja je barem 3 puta veća od težine provodnika sa dodatnim teretom, a na zateznim stupovima barem 3 puta veća od zatezanja (vlaka) vodiča.

Propisi VDE traže da srednje prekidno opterećenje izolatora na nosećim stupovima bude barem jednako četvorostrukom teretu zaleđenih vodiča, izolatora i pribora. Srednje prekidno opterećenje izolatora na zateznim stupovima mora biti barem jednako četvorostrukom iznosu najvećeg zatezanja vodiča.

d) Višestruki izolatori odnosno izolatorski lanci

Dopušteno je da se mehaničko opterećenje vodiča raspodjeli na dva ili više izolatora odnosno izolatorska lanca uz uvjet da se primjene sredstva koja pouzdano jamče da će se u normalnom stanju ukupno opterećenje podjednako raspodijeliti.

e) Pojačana izolacija (pojačana mehanička sigurnost)

Smatra se da je izolacija voda mehanički pojačana ako se: 1) za potporne izolatore upotrijebe dva ili više izolatora tako da u slučaju loma jednog izolatora preostali izolatori budu dimenzionirani prema tački a) uzimajući u obzir raspodjelu opterećenja na neoštećene izolatore; 2) za viseće izolatore upotrijebe dva ili više lanaca dimenzioniranih prema tačkama b) odn. c) za normalno stanje voda kad je opterećenje ravnomjerno raspodijeljeno na sve lance, a u slučaju prekida jednog lanca preostali lanci ne smiju biti opterećeni više nego sa pola iznosa elektromehaničke (kapasti izolatori) odn. minimalne (masivni i štapasti izolatori) prekidne čvrstoće.

Ispitivanje izolatora za nadzemne vodove iznad 1 kV **238**
prema jugosl. standardu JUS N.F1.011/1958 u skladu s publikacijom IEC 75/1955

1. Ispitivanja prve grupe

Vrše se samo jedanput za cijelu isporuku izolatora, i to na 4 izolatora (ili izolatorska lanca) uzeta iz prve partije.

a) Ispitivanje pozitivnim i negativnim udarnim naponom sa 50% preskoka (vrši se u suhom).

b) Ispitivanje podnosivim naponom 50 Hz, 1 min u suhom. Svi izolatori moraju izdržati.

c) Ispitivanje podnosivim naponom 50 Hz, 1 min po kiši (jakost kiše 3 mm/min, nagib oko 45°, spec. otpor 10 000 Ωcm, temperatura vode = temperatura izolatora ± 10° C). Svi izolatori moraju izdržati.

d) Određivanje preskočnog napona u suhom (srednja vrijednost iz 10 mjerenja).

2. Ispitivanja druge grupe

Vrše se pri preuzimanju svake partije, i to na 0,15% izolatora, ali na barem 12 komada[1]).

a) Provjeravanje mjera da li su unutar tolerancija.

b) Ispitivanje otpornosti prema naglim promjenama temperature.

c) Mehaničko opterećenje propisanim teretom kroz 24 sata.

d) Elektromehaničko ispitivanje. (Vrši se samo na izolatorima koji se mogu probiti, dakle ne na izolatorima s masivnom jezgrom. Na izolator se narine 90% srednje vrijednosti preskočnog napona u suhom pa se on mehanički opterećuje do preloma ili proboja.)

e) Određivanje mehaničkog prelomnog tereta.

f) Određivanje probojnog napona[2]).

g) Ispitivanje poroznosti (fuksinska proba).

h) Provjeravanje kvalitete pocinčanja. Pocinčanje mora izdržati barem 4 umakanja od 1 min u propisanu otopinu bakrenog sulfata[3]).

Postupak ako jedan ili više izolatora nisu zadovoljili uvjetima: Ako pri ispitivanjima navedenima pod 2b) do g) samo 1 izolator ne zadovolji uvjetima, treba ponovo izvršiti sva ispitivanja na novoj, dvostruko većoj odabranoj količini izolatora. Ako pri ponovnim ispitivanjima svi rezultati budu zadovoljavajući, cijela se partija smatra ispravnom. Ako pri prvim ispitivanjima 2 ili više, ili pri ponovnim ispitivanjima 1 ili više izolatora ne zadovolje uvjetima, cijela se partija povlači radi ispitivanja koja će vršiti proizvođač, nakon čega on opet u cijelosti ili djelomice može te izolatore ponuditi. Nova količina odabranih komada za ispitivanje iznosi 1,5%, ali barem 30 kom. Ako pri tim novim ispitivanjima 1 ili više rezultata ne zadovoljavaju, smatra se da cijela partija ne zadovoljava propise. Za ispitivanja pod 2a) i 2h) vrijedi isto, samo s tim da pri ponovljenim novim ispitivanjima ne treba vršiti sva ispitivanja nego samo ispitivanja prema 2a) odn. 2h).

3. Ispitivanja treće grupe

Vrše se na svakom pojedinom izolatoru.

1. Vizuelno pregledavanje (uglav. na glatkoću i kontinuiranost glazure).

2. Mehaničko ispitivanje ispitnim teretom: 10 sek. sa 60% propisanog 24-satnog mehaničkog tereta. Ako broj oštećenih izolatora prijeđe 3%, cijela se partija smatra neispravnom.

3. Ispitivanje ispitnim naponom: 15 min sa tako visokim naponom da on svakih 4 do 5 s uzrokuje preskok na jednom od izolatora. Ako pritom bude probijeno više od 3% izolatora, cijela se partija smatra neispravnom[4]).

---

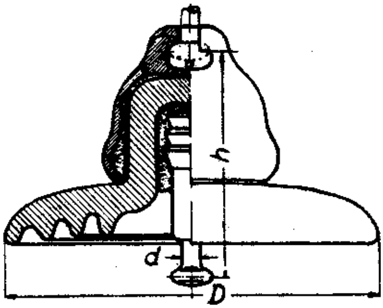
[1]) Ako se preuzima manje od 1000 izolatora, može se uzeti manji broj.

[2]) Prema VDE 0446/3.63 najmanji probojni napon mora iznositi barem 130% od srednjeg preskočnog napona u suhom.

[3]) 35 težinskih dijelova kristaliničnog Cu-sulfata u 100 tež. dijelova vode.

[4]) Propisi VDE 0446/3.63 traže umjesto toga da se ispitivanje nastavi 10 min. nakon zadnjeg proboja.

239 **Viseći kapasti izolatori**



Oznaka: K 170/280 (prije K3)
(Ostali izolatori tipa K nisu više standardizirani prema DIN-u.)

Standardi:

JUS N.F1.111/1959
DIN 48 007/11.55

Mjere u mm:

$h = 170$, $D = 280$, $d = 16$

Izolator K 170/280 (prije K3)

JUS i DIN se razlikuju u podacima za ove izolatore:

	JUS	DIN
Srednji prelomni teret, tona	—	10
Minimalni prelomni teret, tona	7	8
Minimalni elektromehanički teret, tona	6,4	8
Trajni teret 24 h, tona	4	—
Trajni teret 1 godina, tona	—	3,6
Ispitni teret za svaki komad, tona	2,4*	2
Slobodna keramička površina cm²	—	1600
Podnosivi napon 50 Hz, 1 min u suhom, kV	70	70
Podnosivi napon 50 Hz, 1 min po kiši, kV	45	50
50%-tni udarni napon pozitivan, kV	130	—
50%-tni udarni napon negativan, kV	136	—
Strujna staza, cm	—	32
Najmanji probojni napon, kV	110	vidi niže

Težina izolatora K 170/280 prema DIN iznosi približno 6,1 kg, a izolatori jugoslavenske proizvodnje (Industrija elektroporcelana Aranđelovac) oko 7,5 kg (zbog masivnije izvedbe kape i batića u gornjem dijelu).

Podnosive i srednje preskočne napone lanaca vidi u 241 na strani 386.

U pogledu zahtjeva na probojni napon odredbe DIN i VDE jako su varirale. Staro izdanje norme DIN 48 007 tražilo je da srednji probojni napon bude barem 130 kV. Novija izdanja norme DIN 48 007 iz novembra 1951. i novembra 1955. ne postavljaju nikakve zahtjeve na probojni napon jer je probojni napon određen propisima VDE 0446. Međutim, dok izdanje propisa VDE 0446/3.55 (iz marta 1955.) traži da srednji probojni napon mora iznos ti barem 160%, a najmanji probojni napon barem 140% srednjeg preskočnog napona u suhom, dotle izdanje propisa VDE 0446/3.63 (iz marta 1963.) traži da probojni napon ne bude manji od 130% srednjeg preskočnog napona u suhom, a za srednji probojni napon nema nikakve odredbe.

Izolatori moraju biti smeđe glazirani. Kapa izolatora je od temprovanog liva, a batić (tučak) od čelika. I kapa i batić moraju biti pocinčani u vatri.

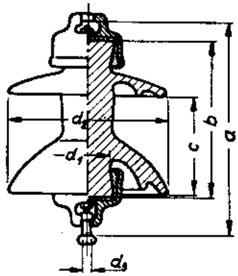
Kako se srednji preskočni napon u suhom kreće obično između 80 i 90 kV (uz podnosivi napon 50 Hz, 1 min = 70 kV), srednji probojni napon prema VDE treba da iznosi barem 128 do 144 kV, a najmanji probojni napon barem 112 do 126 kV (već prema izmjerenom srednjem preskočnom naponu izolatora).

---

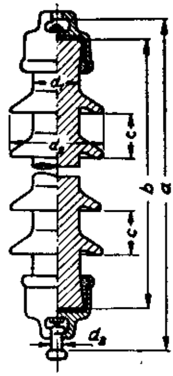
* To jest 60% trajnog tereta 24 h.

Viseći izolatori s masivnom jezgrom

prema JUS N.F1.116 (prijedlog) i DIN 48 006/11.55



Masivni izolator VK (M)



Štapasti izolator VKL (L)

Oznaka JUS	Oznaka DIN	Broj rebara	Mjere u mm						Težina kg
			d_1	d_2	d_3	a	b	c	
M 60/2	VK 60/2	2	60	200	11	250	190	115	6,5
M 75/2	VK 75/2	2	75	250	16	340	250	155	12,5
M 85/2	VK 85/2	2	85	280	20	380	280	170	17,0
L 60/5	VKL 60/5	5	60	120	11	405	340	45	7,0
L 60/7	VKL 60/7	7	60	120	16	525	440	45	8,0
L 75/9	VKL 75/9	9	75	150	16	895	810	75	18,0
L 75/14	VKL 75/14	14	75	150	16	1270	1185	75	25,0
L 85/14	VKL 85/14	14	85	160	20	1305	1205	75	35,0

Oznaka JUS	Oznaka DIN	Srednji prelomni teret tona	Trajni teret 1 god. tona	Ispitni teret komadni tona	Slobodna keramička površina cm²	Strujna staza cm	Preskočni napon u suhom kV	Preskočni napon po kiši kV
M 60/2	VK 60/2	5,5	2,5	3,0	1700	45	110	70
M 75/2	VK 75/2	10,0	4,5	5,5	2800	57	125	85
M 85/2	VK 85/2	12,0	5,4	6,6	3400	66	130	95
L 60/5	VKL 60/5	5,5	2,5	3,0	1350	54	110	70
L 60/7	VKL 60/7	6,7	3,0	3,7	1850	74	140	100
L 75/9	VKL 75/9	10,0	4,5	5,5	4100	130	260	200
L 75/14	VKL 75/14	10,0	4,5	5,5	6400	200	400	315
L 85/14	VKL 85/14	12,0	5,4	6,6	7900	200	400	315

Najmanji prelomni teret pojedinog komada smije se razlikovati od srednjeg prelomnog tereta ispitanih izolatora za najviše 20%.

Podaci za težinu, slobodnu keramičku površinu i strujnu stazu jesu približni. Podatke za preskočne i podnosive napone lanaca vidi na narednoj strani. Izolatori moraju biti smeđe glazirani.

241 Električke karakteristike izolatorskih lanaca bez zaštitnih armatura*

prema VDE 0294/2.59

Oznaka izolatora JUS (DIN)	Broj članaka	Srednji preskočni napon 50 Hz u suhom kV	Srednji preskočni napon 50 Hz po kiši kV	Podnosivi napon 50 Hz po kiši kV	50%-tni udarni preskočni napon + kV	50%-tni udarni preskočni napon — kV	Podnosivi udarni napon kV
K 170/280 (prije K 3)	1	80	55	50	140	146	127
	2	150	105	95	230	241	209
	3	210	155	141	320	334	291
	4	270	200	182	410	428	373
	5	330	245	223	500	522	455
	6	390	287	261	590	616	536
	7	450	329	299	680	710	618
	8	505	371	337	770	804	700
	9	560	413	375	860	898	782
	10	615	455	414	950	993	864
	11	670	497	452	1040	1086	946
	12	720	539	490	1130	1181	1027
	13	770	581	528	1220	1275	1109
	14	820	623	566	1310	1369	1191
M 60/2 (VK 60/2)	1	110	75	68	230	200	182
	2	200	140	127	360	330	300
	3	290	205	186	500	465	423
M 75/2 (VK 75/2)	1	140	95	86	300	270	245
	2	255	180	163	465	425	386
	3	370	260	236	630	585	532
	4	490	340	309	800	745	677
	5	600	420	382	975	900	818
	6	710	495	450	1140	1060	964
	7	820	570	519	1310	1220	1109
M 85/2 (VK 85/2)	1	145	100	91	310	280	255
	2	280	195	177	500	455	414
	3	410	285	259	695	630	573
	4	545	375	341	885	810	736
	5	670	465	423	1080	985	895
	6	795	545	496	1270	1160	1055
	7	910	625	569	1465	1335	1214
L 60/5 (VKL 60/5)	1	120	90	82	195	215	177
	2	225	170	155	360	430	328
L 60/7 (VKL 60/7)	1	150	120	109	240	265	218
	2	280	220	200	450	530	410
L 75/9 (VKL 75/9)	1	265	225	205	420	470	382
	2	510	435	396	850	940	773
L (VKL) 75/14 i 85/14	1	400	340	309	630	700	573
	2	780	660	600	1280	1400	1163
	3	1000	920	836	1930	2100	1755

* Preskočni napon izolatora sa zaštitnim armaturama vidi na strani 381 dolje.

Utjecaj elektromehaničke odnosno mehaničke čvrstoće lančastih izolatora na dopuštena radna naprezanja užeta nadzemnih vodova **242**

Pretpostavke: 1. Elektromehanički teret izolatora K 170/280 (prije K 3): 6,4 t.
Prelomni teret masivnih i štapastih izolatora:

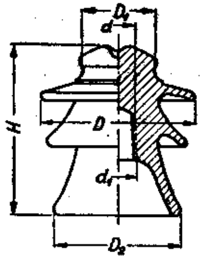
Izolator	M 60/2	M 75/2	M 85/2	L 60/5	L 60/7	L 75/9	L 75/14	L 85/14
Srednji p. t.	5,5	10	12	5,5	6,7	10	10	12
Minimalni p. t.	4,4	8	9,6	4,4	5,36	8	8	9,6

2. Koeficijent sigurnosti izolatora: 3 (prema »Tehničkim propisima za gradnju nadzemnih vodova jake struje«, Služb. list FNRJ broj 24/60 (vidi i 237, str. 382).

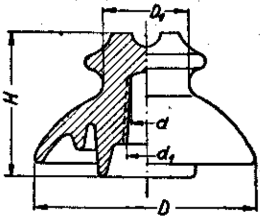
3. Jednostruki izolatorski lanac.

Materijal	Presjek nazivni mm²	Presjek izradbeni mm²	Dopušteno najveće radno naprezanje užeta u kp/mm² za izolatore: K 170/280	M 60/2 L 60/5	L 60/7	M 75/2 L 75/9 L 75/14	M 85/2 L 85/14
Bakar	do 70	65,8	19	19	19	19	19
	95	93,2	19	15,7	19	19	19
	120	117	18,2	12,5	15,3	19	19
	150	147	14,5	10,0	12,1	18,1	19
Bronca I	do 50	49,5	24	24	24	24	24
	70	65,8	24	22,3	24	24	24
Bronca II	do 35	34,4	30	30	30	30	30
	50	49,5	30	29,6	30	30	30
	70	65,8	30	22,3	27,2	30	30
	95	93,2	22,8	15,7	19,2	28,6	30
	120	117	18,2	12,5	15,3	22,8	27,4
	150	147	14,5	10,0	12,1	18,1	21,8
	185	182	11,7	—	—	14,6	17,6
	240	243	8,7	—	—	10,9	13,1
Bronca III	do 35	34,4	35	35	35	35	35
	50	49,5	35	29,6	35	35	35
	70	65,8	32,4	22,3	27,2	35	35
	95	93,2	22,8	15,7	19,2	28,6	35
	120	117	18,2	12,5	15,3	22,8	27,4
	150	147	14,5	—	—	18,1	21,8
	185	182	11,7	—	—	14,6	17,6
	240	243	8,7	—	—	10,9	13,1
Aluminij	do 185	182	7	7	7	7	7
	240	243	7	6,0	7	7	7
	300	299	7	4,9	5,9	7	7
Alučel 6 : 1	120/21	143,5	10	10	10	10	10
	150/25	174,3	10	8,4	10	10	10
	185/32	215,5	9,9	6,8	8,3	10	10
	210/36	244,9	8,7	5,9	7,3	10	10
	240/40	276,1	7,7	5,3	6,4	9,6	10
	300/50	344,4	6,2	—	—	7,7	9,3
4,3 : 1	125/29	153,7	11	9,5	11	11	11
	170/40	211,9	10	6,9	8,4	11	11
	210/50	261,6	8,1	5,6	6,8	10,2	11
3 : 1	310/100	405,2	5,2	—	—	6,6	7,9
	340/110	451,8	4,7	—	—	5,9	7,0

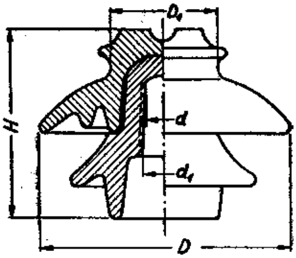
243 Linijski potporni izolatori za visoki napon



Tip D (VHD ili St)



Tip I 165



Tip I 220 i 260

Oznaka JUS	Oznaka DIN[1])	Nazivni napon voda kV	Mjere u mm H	D	D_1	D_2	d	d_1	Težina približno kg	Najmanji preskočni napon suho kV	kiša kV	Podnosivi napon suho kV	Srednji probojni napon kV	Najmanji prelomni teret tona
D 10	VHD 10	10	130	135	70	110	28	31	1,5	68	50	50		1,0
D 15	VHD 15	15	150	150	78	120	28	31	2,3	76	59	59		1,0
D 20	VHD 20	20	185	175	85	145	31	35	3,4	90	73	73	2)	1,2
D 25	VHD 25	25	215	205	90	165	32	36	4,3	99	82	82		1,2
D 30	VHD 30	30	250	230	100	185	38	43	6,5	112	95	95		1,2
D 35	VHD 35	35	290	260	107	210	40	45	9,4	124	107	107		1,3
I 165		10	105	165	65	—	28	31	1,55	70	40	60	110	1,0
I 220		20	165	220	95	—	34	37	4,65	95	64	90	130	1,0
I 260		35	210	260	115	—	35	37	5,80	125	80	100	165	1,2

Tip I 10 prema JUS N.F1.101/1959, tip I 20 prema JUS N.F1.102/1959, tip I 35 prema JUS N.F1.103 (prijedlog).

Tipovi VHD 20 i 35 prema DIN 48 004/XII. 40. U normi DIN 48 004/11.51 brisani su tipovi VHD 25 i 35 te je povećan promjer gnijezda za nosače. U novoj normi DIN 48 004/11.55 nema u tome promjene, ali je oznaka izolatora promijenjena u St. U nas se još uvijek proizvode izolatori s užim gnijezdom prema gornjoj tablici odn. starijoj citiranoj normi.

Izolatori moraju biti smeđe glazirani.

Polumjer zakrivljenosti žlijeba na vratu i glavi izolatora iznosi: za izolatore I 10 i 20 10 mm, za I 35 12 mm, a za sve izolatore VHD 12,5 mm.

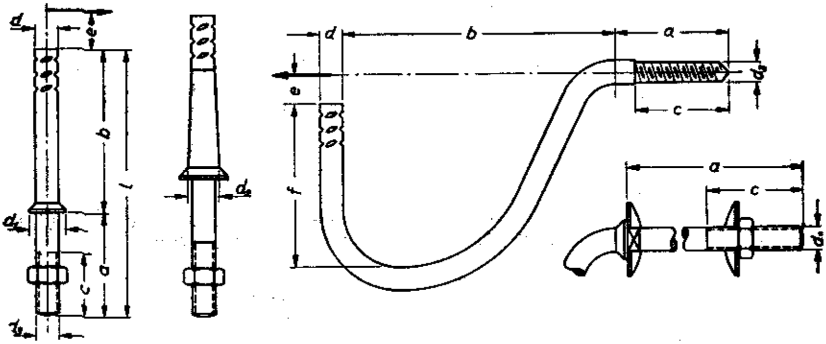
---

1) VHD je i u nas uobičajena oznaka prema ranijoj normi DIN. Međutim, prema sadašnjoj normi DIN 48 004/11.55 oznaka ovih izolatora nije više VHD, već St.

2) Prema propisima VDE 0446/3.63 ispituju se ovi izolatori sa po 20 naponskih udara pozitivne i negativne polarnosti pri čemu tjemena vrijednost udarnog ispitnog napona mora iznositi 200% podnosivog udarnog napona. Pri tom ispitivanju ne smije doći do proboja. Ako se takvo ispitivanje ne može provesti, smiju se izolatori ispitati na proboj izmjeničnim naponom (50 Hz) u ulju pri čemu probojni napon nikad ne smije biti manji od 130% srednjeg preskočnog napona u suhom. (Srednji preskočni napon u suhom, koji treba odrediti mjerenjem, obično je 5 do 10% viši od garantiranog najmanjeg preskočnog napona u suhom.) (Stara norma DIN tražila je da srednji probojni napon iznosi barem 180 kV za sve izolatore VHD, dakle npr. i za VHD 10 i za VHD 35.)

Ravni i savinuti nosači za linijske potporne izolatore visokog napona **244**

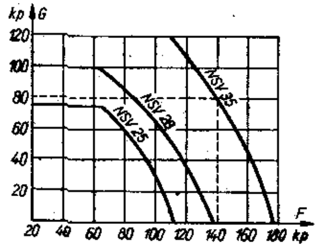
Ravni nosači JUS N.F1.501/VIII - 1962 (DIN 48 044/5.51)**, savinuti nosači JUS N.F1.502/VIII - 1962 (DIN 48 045/4.44)**



Tip A Tip B Tip E Tip F

Oznaka JUS	Oznaka DIN**	Napon kV	Mjere u milimetrima									Težina kg	Teret* F kg
			a	*b*	*c*	*d*	d_1	d_2	d_3	*e*	*f*		
NPV 25 A	VHS 10/15 A	10, 15	105	170	65	25	40	—	M 24	40		1,20	125
NPV 28 A	VHS 20 A	20	105	205	65	28	45	—	M 24	43		1,57	145
NPV 35 A	VHS 30 A	30, 35	125	320	65	35	60	—	M 24	60		3,10	175
NPV 25 B	VHS 10/15 B	10, 15	140	170	75	25	50	40	M 30	40		2,32	440
NPV 28 B	VHS 20 B	20	140	205	75	28	60	45	M 30	43		3,11	560
NPV 35 B	VHS 30 B	30, 35	145	320	75	35	90	53	M 36	60		6,08	620
NSV 25 E	VHS 10/15 E	10, 15	120	310	100	25			20	30	170	2,50	Vidi dijagram lijevo dolje
NSV 28 E	VHS 20 E	20	120	310	100	28			22	35	200	3,60	
NSV 25 F	VHS 10/15 F	10, 15	250	310	100	25			M 24	30	170	3,90	
NSV 28 F	VHS 20 F	20	250	310	100	28			M 24	35	200	4,85	
NSV 35 F	VHS 30	30, 35	300	480	100	35			M 30	50	330	10,42	

Materijal čelik Č.0300 JUS C.B0.500 (vidi 91, str. 182.). Nosači moraju biti pocinčani ili premazom zaštićeni od rđe.



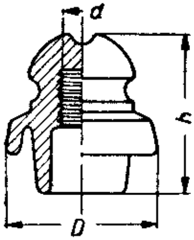
* Dozvoljeni horizontalni teret *F* pod pretpostavkom dozvoljenog naprezanja na savijanje 1600 kp/cm².

** Ovo su stare norme i stare oznake. Oznake prema novim normama DIN drukčije su.

← Dozvoljena naprezanja savinutih nosača za istovremeno djelovanje vertikalne sile *G* i horizontalne sile *F*.

Npr. za NSV 10 za vertikalni teret *G* = 40 kg dozvoljen je horizontalni teret *F* = 93 kp.

245 Izolatori za nadzemne vodove niskog napona



a) Potporni izolatori tipa N

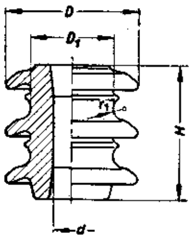
(prema JUS N. F1. 301/1959 i DIN 48150/4.44)*

Oznaka JUS i DIN	U_n do V	Za presjeke do mm²	Mjere mm			Najmanji prelomni teret kp	Težina 100 kom. kg
			h	*D*	*d***		
N 60	250	10	60	60	17/19		15
N 80	500	35	85	80	19/21	1200	38
N 95	500	150	95	95	22/24	1500	60

Izolatori N 60 nisu obuhvaćeni ni u JUS ni u DIN. Njihova se upotreba ne preporučuje. — U_n — nazivni napon mreže.

* Nova norma DIN 48 150/6.62 sadrži još samo izolatore N 95 i N 95/2 (izolator sa 2 žlijeba).

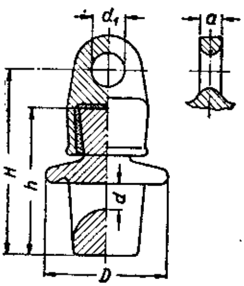
** Prvi broj gornji, drugi broj donji promjer.



b) Zatezni valjkasti (šekl) izolatori

(prema JUS N. F1. 306/1959 i DIN 48 154/9.59)

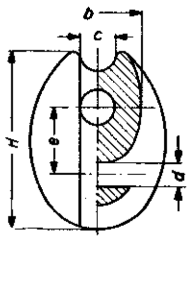
Oznaka		Mjere u mm					Najmanji prelomni teret kp	Težina 100kom. kg
JUS	DIN	*H*	*D*	D_1	*d*	r_1		
Z 80	S 80	80	80	50	22	6,5	1000	50
Z 115	S 115	115	115	72	32	8,0	1600	144



c) Zatezni izolatori tipa Z

(prema DIN 48 152/3.58)

Oznaka DIN	Mjere u mm						Najmanji prelomni teret tona	Dozvoljeni teret kp	Težina 100 kom. kg
	H	*h*	*D*	*d*	d_1	*a*			
Z 45	158	112	100	20	21	16	1,8	600	130



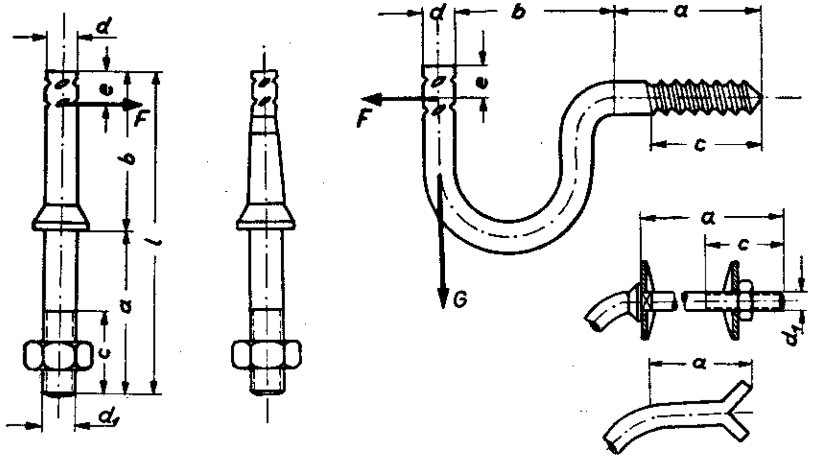
d) Zatezni jajoliki izolatori

(prema DIN 48 152/8.43)

Oznaka DIN	Mjere u mm					Dozvoljena vlačna sila kp	Težina 1000 kom. kg
	H	*b*	*e*	*c*	*d*		
C 30	30	14	11	7,5	4	50	20
C 40	40	20	14	8	8	130	30
C 70	70	32	26	12	8	250	150
C 140	140	60	75	22	21	2000	1600
D 100	100	45	60	15	15	2000	500

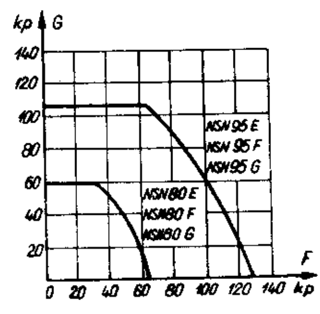
Slika odgovara izolatorima tipa C. Izolatori tipa D nešto su drugačije građeni.

Nosači izolatora N za nadzemne vodove niskog napona



Tip A Tip B Tip E Tip F (gore) i G (dolje)

Oznaka JUS	Oznaka DIN	Mjere u mm								Dozv. teret F kp	Težina kg
		l	a	b	c	d	d_1	e	f*		
NPN 16× 85A	NS 80 A	175	85	90	50	16	M16	6		80	0,32
NPN 19× 85A	NS 95 A	185	85	100	50	19	M20	6		120	0,54
NPN 16× 85B	NS 80 B	175	85	90	50	16	M16	6		280	0,52
NPN 16×100B		190	100	90	50	16	M16	6		280	0,55
NPN 19× 85B	NS 95 B	185	85	100	50	19	M20	6		450	0,60
NPN 19×120B		220	120	100	50	19	M20	6		450	0,71
NSN 16E	NS 80 E		75	100	55	16	—	13	100	Vidi dijagram	0,48
NSN 16F	NS 80 F		230	145	100	16	M16	13	100		1,10
NSN 16G	NS 80 G		75	100	—	16	—	13	100		0,52
NSN 19E	NS 95 E		95	110	80	19	—	18	105		0,77
NSN 19F	NS 95 F		230	145	100	19	M20	18	105		1,66
NSN 19G	NS 95 G		95	110	—	19	—	18	105		0,82



* Visina nosača.

Za ravne (prave) nosače: JUS N.F1.601/VIII-1962; za savinute nosače: JUS N.F1.602/VIII-1962.

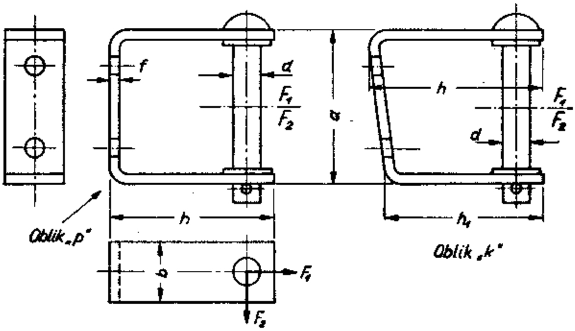
Nosači sa $d = 16$ mm za izolatore N 80, nosači sa $d = 19$ mm za izolatore N 95.

Materijal: čelik Č. 0300 prema JUS C.B0.500.

Nosači moraju biti pocinčani ili premazom zaštićeni od rđe.

← Dozvoljena naprezanja savinutih nosača. Npr. za NSN 80 E i vertikalni teret $G = 40$ kp dozvoljen je horizontalni teret $F = 48$ kp.

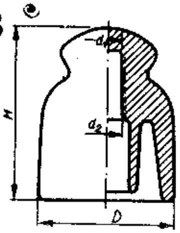
247 Stremeni za zatezne valjkaste (šekl) izolatore



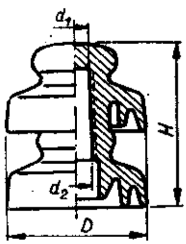
Oznaka JUS	Oznaka DIN	Za izolatore JUS	Mjere u mm						Dozvoljeni teret kp		Težina kg
			a	h	h_1	d	b	f	F_1	F_2	
SP 105	B 80 g	Z 80	103	110	—	18	40	6,5	500	120	1,00
SP 147	B 115 g	Z 115	145	155	—	28	50	8	900	250	2,45
SK 105	B 80 s	Z 80	103	117	106	18	40	6,5	500	120	1,00
SK 147	B 115 s	Z 115	145	165	150	28	50	8	900	250	2,45

Stremeni se izrađuju prema JUS N.F1.606/VIII-1962 od čelika Č.0300 (JUS C.B0.500), a svornjaci od čelika za zakovice (JUS C.B0.506). Stremen, svornjak, podložna pločica i rascjepka moraju biti trajno zaštićeni od rđe pocinčanjem ili na drugi pouzdan način.

248 Telekomunikacioni izolatori



Tip T



Tip Tk

Oznaka JUS	Oznaka DIN	Mjere u mm				Težina kg
		H	D	d_1	d_2	
T 1	RMk 130	130	86	21	23	0,90
T 2	RMk 95	95	70	21	23	0,42
T 3	RMk 75	75	60	13	14	0,28
Tk	RMd 120	120	103	21	23	0,98
—	RMd 90	90	85	21	23	0,53
Tu	RMü	95	70	13	14	0,78

Izolatori T prema JUS N.F1.801/1954.

Izolator Tk — ukrsni izolator — prema JUS N.F1.802/1954.

Izolator Tu — uvodni izolator — prema JUS N.F1.811/1954.

Tehničke uvjete za telekomunikacione izolatore vidi u JUS N.F1.081/1954.

Uzemljenje nadzemnih vodova

Prema Tehničkim propisima za gradnju nadzemnih vodova jake struje i Tehničkim propisima za izvođenje postrojenja jake struje za pogonski napon iznad 1000 V.

1. Mreže niskog napona

Stupove vodova do 250 V prema zemlji ne treba posebno uzemljiti.

2. Sigurnost ljudi u mrežama visokog napona s neuzemljenom ili ne kruto uzemljenom nultačkom

Pad napona na otporu uzemljenja R_u ne smije za trajanja zemljospoja prijeći 125 V, tj. R_u ne smije prijeći $125/I_z$ gdje je I_z struja zemljospoja u amperima. Na vodovima sa zaštitnim užetima R_u je ukupni otpor uzemljenja računajući i spoj preko zaštitnih užeta. R_u može se prekoračiti ako se poduzmu mjere koje će pojavu zemljospoja učiniti vrlo malo vjerojatnom (neprobojni izolatori, redovna kontrola izolatora za vrijeme pogona) ili vrlo kratkotrajnom (signalizacija zemljospoja i neposredno ručno isklapanje voda, automatsko isklapanje voda u zemljospoju). R_u može se prekoračiti i na slabo pristupačnim mjestima.

3. Sigurnost ljudi u mrežama s kruto uzemljenom nultačkom

Stupove u naseljenim mjestima, na poljoprivrednim površinama, do 15 m uz prometne putove ili ulice treba tako uzemljiti da dodirni napon i napon koraka ne prijeđu ove vrijednosti:

Vrijeme isklapanja zemljospoja	veće od 0,5 s	do 0,5 s	do 0,2 s
Dodirni napon 1 m od stupa najviše	65 V	97,5 V	130 V
Napon koraka duljine 1 m najviše	125 V	187,5 V	250 V

4. Uzemljenje za zaštitu od groma

Uzemljenje stupa treba da bude takvo da nema opasnosti povratnog preskoka. Smatra se da je ovaj uvjet ispunjen ako je

$$R_{uz} = U_i/I_u$$

(R_{uz} — otpor uzemljenja promatranog stupa bez veze sa zaštitnim užetima u omima; U_i — podnosivi udarni napon suhe izolacije voda u kV, I_u — tjemena vrijednost udarne struje groma u kA.)

Otpor uzemljenja s kojim se može računati pri udarnim naponima groma uzima se približno jednakim otporu uzemljenja dobivenom uobičajenim mjerenjem. Što su uzemljivači kraći, to je ova pretpostavka ispravnija.

Ako nema drugih podataka, preporučuje se da R_{uz} ne prijeđe 15 oma.

5. Dozemni vodovi (vodovi za uzemljenje)

Minimalni presjeci: pocinčani čelik 50 mm², Cu 16 mm², Al 35 mm². Dozemni vod položen go u zemlju smatra se dijelom uzemljivača. Goli Al ne smije se polagati u zemlju.

6. Uzemljivači

T r a k a s t i   u z e m l j i v a č i: Pocinčana čelična traka barem 100 mm² i ne tanja od 3,5 mm; bakrena traka barem 50 mm² i ne tanja od 2,5 mm; pocinčano čelično uže barem 50 mm²; bakreno uže barem 35 mm².

Š i p k a s t i   u z e m l j i v a č i: Poc. čel. cijev barem 2" i ne tanja od 3 mm; bakrena cijev barem 50/44 mm; poc. čelični profili, i to barem 65×65×7, ili U6 ili T6; pocinčani okrugli čelik barem 8 mm promjera.

P l o č a s t i   u z e m l j i v a č i: Pocinčani čelični lim debeo barem 3 mm ili bakreni lim debeo barem 1 mm.

Ako se, izuzetno, upotrebljava nepocinčani čelik ili se očekuju jače korozije u tlu, treba uzeti 50% veće presjeke.

Ako uzemljivač služi samo za izjednačenje potencijala, najmanji dozvoljeni presjek pocinčanog čelika iznosi 16 mm², a bakra 10 mm².

250 **Sigurnosne visine (SV), sigurnosne udaljenosti (SU) i sigurnosne mjere** prema Tehničkim propisima za gradnju nadzemnih vodova jake struje*

	Ukrštavanje, prijelaz odn. približavanje	Visoki napon**		Niski napon		Sigurnosne mjere***
		SV m	SU m	SV m	SU m	
1	Nepristupačna mjesta i neplovne rijeke	4	3	4	3	—
2	Mjesta nepristupačna za vozila	5	4	5[1])	4	—
3	Mjesta pristupačna za vozila	6	5	5	4	—
4	Zemljišta u naseljenim mjestima	7	—	5	—	A, C
5	Putovi 2. do 4. reda	7	—	6	—	A, C[2])
6	Putovi 1. reda	7	—	6	—	A, B, D, E[3])
7	Autoputovi	7	—	7	—	A, B, D, E, F, G[4])
8	Gradske ulice i gusto naseljena mjesta	7	—	7	—	A, B, D, E, G
9	Željezničke pruge koje ne pripadaju Zajednici jugoslavenskih željeznica[5])	7	—	7	—	A, B, D, E, G
10	Tramvaji i trolejbusi (vozila, vodovi, stupovi, nosači)	—	3	—	2	A, B, D, E, G
11	Rijeke na kojima je moguće splavarenje	7[6])	—	7[6])	—	A, C
12	Plovne rijeke i kanali	15[7])	—	15[7])	—	A, B, D, F, G[8])
13	Nepristupačni dijelovi zgrada	—	3	—	1[9])	A, B[10]), C[11])
14	Pristupačni dijelovi zgrada	5	4	3	1,25	A, B[10]), C[11])
15	Prozori: od gornjeg ruba prozora prema gore od donjeg ruba prozora prema dolje od poda sobe prema gore od otvora prozora vodoravno prema vani	— — — —	— — — —	— — — —	0,3 0,7 2,5 1,25	C C C C
16	Zgrade sa zapaljivim krovom	6	3	—	—	A, B[10]), C[12])
17	Objekti u kojima se nalazi lako zapaljivi materijal	[13])	15	[13])	15	A, C
18	Sportska igrališta[14])	12	12	12	12	A, B, D, G
19	Šume i drveće	2	2[15])	1	1	—
20	Čelični mostovi i slične konstrukcije — od pristupačnih dijelova — od nepristupačnih dijelova	 — —	 5 3	 — —	 5 3	 — —
21	Antene radio-prijemnika	[16])	5	[16])	2	—
22	Vod visokog napona	2,5	1	[17])	[17])	A, C[18])
23	Vod niskog napona	2,5	1	1	0,5	A, C[19])
24	Žičare	5	5	3	3	A, B, D, E, F[20])
25	Žičani plotovi, metalne ograde i slično	$\geqq 0{,}7U$ cm, barem 20 cm[21]).				

* **Primjedbe vidi na narednoj strani.**

Sigurnosne visine, sigurnosne udaljenosti i sigurnosne mjere (nastavak)

Definicije sigurnosne visine i sigurnosnog razmaka vidi na strani 325.

S i g u r n o s n e v i s i n e i s i g u r n o s n e u d a l j e n o s t i u t a b l i c i l i j e v o v r i j e d e z a v o d o v e n a z i v n o g n a p o n a d o u k l j u č i v o 110 kV. Za vodove iznad 110 kV treba sigurnosne visine i sigurnosne udaljenosti povećati za vrijednost

$$0{,}7\ (U_n - 110)\ \text{centimetara}$$

gdje je U_n nazivni napon voda u kilovoltima.

A – Pojačana električka sigurnost (vidi 195, str. 326 i 236, str. 380).

B – Pojačana mehanička sigurnost (vidi 195, str. 326 i 237, str. 382).

C – Dozvoljeno je najviše jedno spojno mjesto na svakom vodiču odnosno zaštitnom užetu u istom rasponu.

D – Vodiči odnosno zaštitna užeta moraju biti od jednog komada, bez spojnih mjesta.

E – Kut prijelaza ne smije biti manji od 30°.

F – Zabranjena je upotreba žica.

G – Normalno i izuzetno dozvoljeno naprezanje materijala za vodiče i zaštitna užeta smanjuje se na 75% od najviše dozvoljenih vrijednosti prema tablici 213.

---

* Dodatak Službenom listu FNRJ br. 24/60.

** Vrijedi samo za vodove do uključivši 110 kV (nazivni napon). Za vodove višeg napona SV i SU se povećavaju (vidi gore).

*** Ove mjere treba poduzeti i onda kad se vod približi autoputu, putu 1. reda, žičari, plovnoj rijeci ili kanalu na udaljenost koja je manja od visine stupa nad zemljom.

1) Za kućne priključke SV = 4 m.

2) Horizontalna udaljenost bilo kojeg dijela stupa voda visokog napona (do 110 kV) do ruba puta treba da po mogućnosti iznosi barem 10 m. Stupovi vodova niskog napona mogu, po potrebi, stajati uz sam rub puta.

3) Horizontalna udaljenost bilo kojeg dijela stupa voda visokog napona (do 110 kV) treba da iznosi barem 20 m ili u slučaju opravdanog obrazloženja barem 10 m, a voda niskog napona barem 2 m ili u slučaju opravdanog obrazloženja 0 (stupovi uz rub puta).

4) Horizontalna udaljenost bilo kojeg dijela stupa od ruba autoputa treba da iznosi 20 m. Ako je vod paralelan s autoputom na potezu duljem od 1 km, udaljenost voda niskog napona od autoputa ne smije biti manja od oko 50 m, voda visokog napona do 35 kV oko 100 m, voda iznad 35 kV oko 150 m.

5) Za električne željeznice je SU od vozila, voznih i pojnih vodova odnosno konstruktivnih dijelova za njihovo nošenje, za vodove visokog napona (do 110 kV) 3 m, za vodove niskog napona 2 m.

6) Računajući od najvišeg vodostaja rijeke.

7) Računajući od najvišeg vodostaja rijeke pri kojem je još moguća plovidba, ako nije drukčije utvrđeno sporazumno s nadležnim organima.

8) Horizontalna udaljenost bilo kojeg dijela stupa od obale barem 10 m, od nožice nasipa barem 6 m. Ako je vod niskog napona paralelan s rijekom odnosno kanalom na duljem potezu, udaljenost voda od obale ne smije biti manja od 50 m.

9) Ako je nosač uzidan sa strane u zgradu, onda SU = 0,3 m. Za uvode u zgradu SU može biti i manja.

10) Samo za stambene zgrade.

11) a) Nadzemni vod visokog napona smije samo izuzetno prelaziti preko zgrade u kojoj se stalno zadržavaju ljudi, i to samo ako se druga rješenja ne mogu opravdati tehnički ili ekonomski. – b) Na stambenim zgradama ne smiju se postavljati zidne konzole ni zidni ni krovni nosači za nošenje vodova visokog napona. – c) Vertikalna udaljenost između vodiča na visećim izolatorima i dijelova zgrade ispod vodiča (sljeme krova, gornji rub dimnjaka itd.) treba da iznosi barem 3 m kad u prelaznom rasponu postoji normalni dodatni teret, a u susjednim rasponima nema ovog tereta.

12) Nadzemni vod visokog napona smije samo izuzetno prelaziti preko takve zgrade, i to samo ako se druga rješenja ne mogu opravdati tehnički ili ekonomski.

13) Nije dozvoljeno da vod prelazi iznad takvih objekata. SU vrijedi za vod koji prelazi pokraj takvih objekata.

14) Treba izbjegavati prijelaz vodova preko sportskih igrališta. Nije dozvoljen prijelaz vodova niskog napona preko samog borilišta. Nije dozvoljen prijelaz vodova preko strelišta. Za skijaške skakaonice vidi posebne uvjete u Tehničkim propisima.

15) Za vodove visokog napona SU mora biti održana i kad se stablo prevali, ali se uzima da tada vodiči nisu otklonjeni vjetrom.

Nastavak primjedaba na strani 396 gore.

Nastavak primjedaba sa strane 395.

16) Nije dozvoljen prijelaz vodova preko antena radio-prijemnika kao ni prijelaz antena preko vodova.

17 Nije dozvoljen prijelaz voda niskog napona iznad voda visokog napona.

18) a) Za važnije vodove većih raspona treba provjeriti SU i za slučaj da na gornjem vodu ima dodatni teret, a na donjem ga vodu nema. — b) Ako dva voda na posebnim stupovima idu paralelno na duljem potezu, treba da je međusobna udaljenost vodiča po mogućnosti veća od visine višeg stupa nad zemljom. — c) Ako su na zajedničkim stupovima dva ili više vodova na raznim visinama, treba vodiče višeg napona smjestiti gore. — d) Minimalni horizontalni razmak između dva vodiča koji pripadaju različnim vodovima treba da iznosi 0,7 U_n centimetara, ali barem 20 cm (U_n — viši nazivni napon u kV). Razmaci vodiča dvaju vodova moraju zadovoljiti uvjete iz 211.

19) a) Iznad vodiča niskog napona treba postaviti dva obostrano uzemljena sigurnosna užeta čije je ispitno opterećenje barem 1000 kp. — b) I ovdje vrijede odredbe iz 18) a), b) i c). — c) Vod niskog napona treba opremiti odvodnicima prenapona na početku i na kraju dionice voda koja je na zajedničkim stupovima s vodom visokog napona, kao i na svakom eventualnom ogranku.

20) Ako vod prelazi ispod žičare, ne treba provesti zaštitne mjere A, B, D i F. Na prijelazu voda iznad žičare treba uzemljiti metalne dijelove susjednih nosećih konstrukcija žičare.

21) Ovo se odnosi na udaljenost od čeličnih i armiranočeličnih stupova.

251 Križanje energetskih vodova sa željezničkim prugama*

1. Vodiči i zaštitna užeta. Najmanje dozvoljene presjeke vidi u 207, str. 340. Dozvoljena naprezanja vidi u 213, str. 346. U križišnom polju vodiči odnosno zaštitna užeta moraju biti u jednom komadu, bez spojnih mjesta.

2. Sigurnosna visina. Iznad gornjeg ruba tračnice neelektrificirane pruge 7 m, elektrificirane pruge** 12 m. Iznad vodova elektroveza: Vidi 252, tačka 3. Sigurnosne visine mogu se smanjiti za 1 m: a) prilikom prekida jednog pričvršenja na križišnom stupu, b) ako na mjestima gdje se upotrebljavaju umetnuti stupovi (međustupovi) u jednom rasponu otpadne dodatni teret s vodiča, a u drugom rasponu ostane.

3. Kutovi i udaljenosti

Križišni kut neka po mogućnosti ne bude manji od 90°, ali ne smije biti manji od 45° (izuzetno do 30°, ali samo za vodove iznad 30 kV).

Po pravilu horizontalna udaljenost križišnog stupa od najbliže željezničke šinje mora biti jednaka visini stupa nad zemljom. Za elektrificirane pruge i one koje će se u dogledno vrijeme elektrificirati ta se udaljenost povećava za 3 m. Izuzetno, te se udaljenosti mogu smanjiti na 5 metara.

Gdje se energetski vod približava željezničkoj pruzi, horizontalna udaljenost najbližeg vodiča od osi najbližeg kolosijeka mora biti bar 3 metra veća od visine stupa nad zemljom ili se energetski vod na tom mjestu mora graditi kao da se križa sa željezničkom prugom.

4. Prijelaz preko staničnog prostora u pravilu nije dozvoljen.

5. Izolatori treba da budu na križišnim stupovima u zateznom, na umetnutim stupovima u ovjesnom položaju. Propisana je povećana električka (vidi 236, str. 380) i mehanička sigurnost (vidi 237, str. 382). Za razliku od definicije u 237 ovdje se traži da se izolatorski lanci na križišnim stupovima dimenzioniraju tako da pri prekidu jednog lanca ukupno garantirano trajno opterećenje preostalih lanaca bude barem jednako izuzetno dopuštenom opte-

* Prema »Tehničkim propisima za građenje električnih vodova na mjestima ukrštanja sa željezničkim prugama« (Dodatak Službenog lista FNRJ broj 68/50).

** Vrijedi i za pruge koje će se uskoro elektrificirati.

rećenju[1]) vodiča u križišnom polju. Ovo važi i za potporne izolatore i za njihove nosače. Izolatorski lanci za 35 kV ili više moraju imati zaštitne armature. Vješaljke lanaca treba uzemljiti.

6. Ovjesni materijal. Na umetnutim stupovima zabranjene su iskočne stezaljke.

7. Vrsti stupova: a) Križišni stupovi sa zateznim izolatorima, b) umetnuti stupovi sa nosećim izolatorima (najviše 3 u jednom križišnom polju, za skretanje trase do 15⁰). Usidrenje u križišnom polju nije dozvoljeno.

8. Opterećenje križišnih stupova

Normalno opterećenje	Opterećenje kod prekida
1.1 Maksimalne vertikalne sile koje nastaju uslijed težine užadi, dodatnog tereta, ljudstva i pribora za montažu opreme za pričvršćenje vodiča, a na neravnom zemljištu i uslijed dodatnih vertikalnih sila kojima uže djeluje na stup. 1.2 Maksimalne vertikalne sile kao u 1.1, ali bez dodatnog tereta i bez ljudstva i pribora za montažu; istodobno ukupne jednostrane maksimalne sile zatezanja svih užeta sa strane križišnog polja. 1.3 Maksimalne vertikalne sile kao u 1.2; istodobno ⅔ jednostrane maksimalne sile zatezanja svih užeta sa strane susjednog polja. 1.4 Maksimalne vertikalne sile kao u 1.2; istodobno ukupne jednostrane maksimalne sile zatezanja svih užeta sa strane križišnog polja.	Ukupna jednostrana maksimalna sila zatezanja ma kojeg vodiča sa bilo koje strane (prekid zaštitnog užeta ne uzima se u obzir ako je njegova sigurnost veća od sigurnosti vodiča); istodobno maksimalne vertikalne sile prema 1.1 za neprekinute vodiče, a 80% ovih sila za prekinute vodiče.

Ako se križišni stup nalazi na mjestu skretanja trase, treba ga dimenzionirati i za slučajeve opterećenja predviđene za kutne stupove prema »Tehničkim propisima za gradnju nadzemnih vodova jake struje« (vidi 229).

9. Dimenzioniranje umetnutih stupova

Umetnuti stupovi dimenzioniraju se kao linijski ili kutni stupovi prema »Tehničkim propisima za gradnju nadzemnih vodova jake struje« (vidi 229).

10. Križanje s industrijskim prugama i kolosjecima

Za ovakva križanja vrijede »Tehnički propisi za gradnju nadzemnih vodova jake struje« (vidi 250).

252 Križanje energetskih vodova s vodovima elektroveza*

1. Osnovno pravilo: Vodiči energetskih vodova treba da budu iznad vodiča elektroveza. Izuzetno, izolirani vodiči vodova do 250 V u naseljenim mjestima mogu biti i ispod vodiča elektroveza. Uvjet: Najmanja vertikalna udaljenost 1 m.

2. Vodiči i zaštitna užeta energetskih vodova: Najmanje dozvoljene presjeke vidi u 207, str. 340. Dozvoljena naprezanja: a) Za prijelaz preko glavnih PTT-vodova** $1/3$ izuzetno dozvoljenog naprezanja (vidi 213), b) za

[1]) Vidi 213.
* Prema »Tehničkim propisima o zaštiti vodova elektroveza od električnih vodova« (vidi podloge uz tablicu 265 na strani 338.
** Vidi fusnotu na strani 400.

Križanje energetskih vodova s vodovima elektroveza (nastavak)

prijelaz preko svih ostalih vodova 100% normalno dozvoljenog naprezanja (vidi također 213).

3. Razmak između vodiča. Najmanji vertikalni razmak najnižeg energetskog vodiča od najvišeg vodiča elektroveza u križištu ne smije pri +40° C bez dodatnog tereta ni pri —5° C sa dodatnim teretom iznositi manje od ovih vrijednosti:

Nazivni napon voda	do 0,25	do 1	> 1 do 35	> 35 do 110	> 110 do 150	> 150	kV
Najmanji razmak	1	2	2,5	3	3,5	4	m

Ako vod elektroveza prelazi iznad voda do 250 V, tada je razmak 1 m (vidi tačku 1).

4. Razmak stupova od križišta (mjesta križanja). Uporište voda elektroveza mora biti barem 5 m udaljeno od križišta. Ujedno treba težiti da jedno uporište energetskog voda bude što manje udaljeno od najdaljeg vodiča elektroveza. Ova udaljenost treba da iznosi barem 2 m i da po mogućnosti bude manja od $2H$ gdje je H visina najnižeg energetskog vodiča iznad najvišeg vodiča elektroveza.

5. Dimenzioniranje stupova. Stupove energetskih vodova s obje strane križišnog raspona treba odmjeriti za raspone koji su bar 25% veći od raspona za koji bi se stup računao da nema križanja.

6. Spojna mjesta. U rasponu ukrštanja vodiči električnih vodova ne smiju imati spojnih mjesta, a ako je vod visokog napona, tada ni u susjednim rasponima.

7. Stezaljke. Iskočne ni klizne stezaljke ne smiju se upotrebljavati na energetskim vodovima na stupovima raspona križanja.

8. Raspon energetskih vodova u križanju treba da po mogućnosti bude smanjen.

9. Pojačana sigurnost. Pojačanu električku i mehaničku sigurnost treba primijeniti na izolaciju s obje strane križišnog raspona.

10. Kut križanja treba po pravilu da bude što bliže 90°, ali bar 45°, izuzetno (po uzajamnom sporazumu) bar 30°.

11. Gromobrani. Na uporištima vodova elektroveza koja se nalaze na krajevima križišnog raspona treba postaviti gromobrane čije uzemljenje treba da ima otpor manji od 25 oma.

12. Zaštitne mreže na mjestima križanja nisu **dozvoljene.**

13. Zaštita od induktivnog utjecaja: Vidi 254.

253 Približavanje vodova elektroveza i energetskih vodova

1. Postavljanje na zajedničkim stupovima dopušteno je samo onda ako se telefonskim ili telegrafskim vodom služi jedino vlasnik energetskog voda.

2. Razmak između vodiča paralelnih vodova ne smije biti manji od visine viših stupova na toj dionici trase povećanoj za 3 m*. Ako se zbog mjesnih prilika taj razmak ne može održati, on mora iznositi bar 1 m za vodove do 250 V prema zemlji, odnosno bar 4 m za vodove iznad 250 V prema zemlji, ali uz primjenu pojačanja predviđenih za križanje.

3. Približavanje na krivinama. Treba poduzeti jednu od ove dvije mjere:

a) Smanjiti raspon tako da unutarnji vodič vanjske trase, i onda kad se otkine i ispravi, bude udaljen od vanjskog vodiča unutarnje trase bar 3 m.

b) Pojačati učvršćenje vodiča na potpornim (zvonastim) izolatorima (sigurnosni stremeni i sl.).

4. Zaštita od induktivnog utjecaja: Vidi 254.

---

* Induktivni utjecaj može međutim tražiti veći razmak. (O tome vidi u 254.)

Proračun razmaka trofaznih energetskih vodova od vodova elektroveza s obzirom na djelovanje električnog i magnetskog polja **254**

Prema »Tehničkim propisima o zaštiti vodova elektroveza od električnih vodova« (Službeni list FNRJ broj 34/51 i 65/52) te naredbi o izmjenama i dopunama tih propisa (Služb. list broj 13/60)

1. Oznake: U - nazivni napon energetskog voda u voltima, l - duljina dionice približavanja u km, l_1 - nekompenzirana duljina voda elektroveza* u km, a - razmak između trase energetskog voda i trase voda elektroveza u metrima**, b - srednja visina energetskih vodiča nad zemljom u metrima, c - srednja visina vodiča elektroveza nad zemljom u metrima, N - broj vodiča elektroveza na istoj trasi, k - telefonski faktor oblika napona, α - kut križanja energetskog voda i voda elektroveza, δ - geometrijska sredina međusobnog razmaka energetskih vodiča u metrima.

2. Nekompenzirana duljina voda elektroveza je najveći korak transpozicije voda. Ona se određuje prema shemi transpozicije voda.

3. Opasnost po telefonske vodove od električkog polja energetskih vodova. Ne treba vršiti nikakav daljnji proračun (bez obzira na duljinu l) ako je ispunjen uvjet: $a \geqq {}^1/_3 \sqrt{U}$, tj. ako je razmak a barem jednak ovim vrijednostima:

Napon $U =$	0,38	0,5	3	6	10	15	20	30	35	50	60	110	220	kV
Razmak $a \geqq$	6,5	7,5	18,3	26	33	41	47	58	62	75	82	110	157	m

Ako gornji uvjet nije ispunjen, treba za svaku dionicu približavanja izračunati karakteristični koeficijent opasnosti f po formuli:

$$f = \frac{lv^2}{N+2} \quad \text{gdje je} \quad v = \frac{U}{400} \, \frac{bc}{a^2 + b^2 + c^2} \, pqr$$

$p = 0{,}75$, ako energetski vod ima zaštitno uže, inače $p = 1$.
$q = 0{,}70$ i $r = 0{,}70$, ako je u udaljenosti voda elektroveza neprekidan drvored, inače $q = 1$ i $r = 1$.

Nema opasnosti, ako je $\Sigma f \leqq 50$.

4. Smetnje u telefonskim vodovima od električnog polja energetskog voda.

Ne treba uopće provesti proračun smetnji ako razmak a iznosi:

a) Za mreže kojima neutralna tačka nije kruto uzemljena:

$$a \geqq 2\sqrt{U} \quad \text{odnosno} \quad a \geqq \sqrt{2U}$$

* Ako je ukupna duljina približavanja manja od nekompenzirane duljine, tada se za l_1 uzima ukupna duljina približavanja.

** Ako je približavanje energetskog voda i voda elektroveza koso, pretvara se takvo koso približavanje u ekvivalentno paralelno približavanje čija je duljina jednaka projekciji voda elektroveza na energetski vod, a razmak a izračunava se kao geometrijska sredina razmaka na oba kraja. Ako omjer razmaka na daljem kraju približavanja i razmaka na bližem kraju približavanja prijeđe vrijednost 3, približavanje se dijeli u 2 ili više dionica u kojima taj omjer ne prelazi vrijednost 3. Pojedini koeficijenti (vidi daljnji tekst) računaju se tada posebno za svaku dionicu pa njihov zbroj ne smije prijeći granične vrijednosti.

b) Za mreže kojima je neutralna tačka kruto uzemljena:

$$a \geqq \frac{2}{3}\sqrt{U\delta} \quad \text{odnosno} \quad a \geqq \sqrt{U\delta/5}$$

Formule lijevo vrijede za glavne telefonske vodove* (kad se dozvoljava fsofometrička EMS do 5 mV), a formule desno za ostale telefonske vodove (fsofometrička EMS do 10 mV).

Za pojedine napone δ iznosi približno:

Nazivni napon voda E	6 ili 10	20	30 ili 35	60	110	220	kV
Srednji geom. razmak δ	1,25	1,4	2,0	3,7	5,65	8,2	m

Razmaci a izračunati po gornjim formulama navedeni su u ovoj tablici:

Nazivni napon voda E	Razmak a kod kojega sigurno nema smetnje izračunat po formulama			
	$a \geqq 2\sqrt{E}$	$a \geqq \sqrt{2E}$	$a \geqq \frac{2}{3}\sqrt{E\delta}$	$a \geqq \sqrt{E\delta/5}$
kV	m	m	m	m
6	155	110	58	39
10	200	142	75	50
20	280	200	112	75
30	345	245	163	110
35	375	265	176	118
50	450	315	260	176
60	490	345	313	210
110	660	470	525	350
220	940	665	895	600

c) Ako razmaci pod a) nisu ispunjeni a neutralna tačka mreže kojoj pripada energetski vod nije kruto uzemljena te nema križanja ili se radi o križanju s vodom ispod 150 000 V, psofometrička EMS neće prijeći granicu od 5 odnosno 10 mV ako je ispunjen uvjet:

$$a \geqq 1{,}75\sqrt{kUl_1} \quad \text{odnosno} \quad a \geqq 1{,}3\sqrt{kUl_1}$$

Formula lijevo vrijedi za glavne telefonske vodove,* a formula desno za ostale telefonske vodove.

Ako ni gornji uvjet nije ispunjen ili se radi o križanju s vodom od 150 000 V ili višeg napona, tada zbroj $t + t'$ ne smije prijeći 0,3 za glavne telefonske vodove niti 0,6 za ostale telefonske vodove, gdje je

$$t = \frac{kUl}{a^2 + b^2 + c^2}; \qquad t' = \frac{0{,}2\,kU}{\sin\alpha}\cdot 10^{-3}$$

Vrijednost za k dobiva se iz rezultata ranijih mjerenja na sličnim energetskim vodovima povećavši je, za svaku sigurnost, za 50%. Ako ne raspolažemo rezultatima ranijih mjerenja, uzima se $k = 0{,}02$. Koeficijent t' uzima se u obzir samo u slučaju križanja sa vodom napona 150 000 V ili više.

Ako se ne mogu ostvariti razmaci između obje trase prema gornjim uvjetima, mogu se dozvoliti i manji razmaci uz uvjet da je energetski vod velike sigurnosti i da su ispunjeni uvjeti pod d).

d) Ako razmaci pod b) nisu ispunjeni, a neutralna je tačka mreže kojoj pripada energetski vod kruto uzemljena, nema križanja ili se radi o križanju

* Glavni telefonski vodovi su oni koji služe za međunarodni saobraćaj, željeznički saobraćaj ili koji spajaju Beograd s glavnim gradovima socijalističkih republika ili autonomnih oblasti ili pokrajina ili ove između sebe.

s vodom ispod 150 000 V, psofometrička EMS neće prijeći granicu od 5 odnosno 10 mV ako je ispunjen uvjet:

$$a \geqq 0{,}5\sqrt{kU\delta l_1} \quad \text{odnosno} \quad a \geqq 0{,}36\sqrt{kU\delta l_1}$$

Formula lijevo vrijedi za glavne telefonske vodove*, a formula desno za ostale telefonske vodove.

Ako ni gornji uvjet nije ispunjen ili se radi o križanju s vodom od 150 000 V ili višeg napona, tada zbroj $s + s'$ ne smije prijeći 4 za glavne telefonske vodove, niti 8 za ostale telefonske vodove, gdje je

$$s = \frac{kU\delta l}{a^2 + b^2 + c^2} \qquad s' = \frac{0{,}2\,kU\delta}{\sin\alpha}\cdot 10^{-3}$$

Vrijednost k se dobiva kao prije, a s' se uzima u obzir samo u slučaju **križanja** s vodom napona 150 000 V ili više.

Ako su vodiči energetskog voda mreže kojoj je neutralna tačka kruto uzemljena raspoređeni u horizontalnoj ravnini, a razmak trase energetskog voda i trase telefonskog voda iznosi više od 100 m, koeficijent s računa se po formuli:

$$s = \frac{2{,}9\,ab\,kU\delta l}{(a^2 + b^2 + c^2)^2}$$

e) Najmanji razmak a između trase energetskog voda i trase telefonskog voda izračunat je u ovoj tablici:

Nazivni napon energetskog voda U	Najmanji razmak a između trase energetskog voda i trase telefonskog voda za nekompenzirane duljine telefonskog voda 4 i 8 km							
	kad neutralna tačka energetskog voda nije kruto uzemljena				kad je neutralna tačka energetskog voda kruto uzemljena			
	za glavne telef. vodove $a \geqq 1{,}75\sqrt{kUl_1}$		za ostale telef. vodove $a \geqq 1{,}3\sqrt{kUl_1}$		za glavne telef. vodove $a \geqq 0{,}5\sqrt{kU\delta l_1}$		za ostale telef. vodove $a \geqq \sqrt{kU\delta l_1}$	
	4 km	8 km	4 km	8 km	4 km	8 km	4 km	8 km
kV	m	m	m	m	m	m	m	m
6	38	56	28	40	12,5	17,5	9	12,5
10	50	70	37	52	16	22,5	11,5	16
20	70	99	52	74	23,5	33,5	17	23,5
30	86	121	64	90	35	49	25	35
35	93	131	69	97	37,5	53	27	37,5
50	111	157	82	116	57	80	40	57
60	121	172	90	127	67	94	48	67
110	164	232	122	173	112	157	80	112
220**	232	328	172	244	190	268	135	190

* Vidi fusnotu na prethodnoj strani.

** Za vodove 220 kV vrijede navedene vrijednosti samo ako nema ukrštavanja. Za smetnje pri ukrštavanju vidi Propise.

5. Opasnost po telefonske vodove od magnetskog polja.

Nikakve mjere za osiguranje telefonskih vodova od ove opasnosti ne treba predvidjeti

a) ako je neutralna tačka elektroenergetskog sistema posve izolirana, a energetski vod je vod velike sigurnosti, ili se automatski isklapa kad dođe do spoja sa zemljom,

b) ako je neutralna tačka elektroenergetskog sistema elastično uzemljena (preko Petersenova gasila ili ekvivalentne naprave).

U svim ostalim slučajevima, a osobito ako je neutralna tačka neposredno (»kruto«) uzemljena, treba za svaku dionicu približavanja izračunati koeficijent opasnosti

$$G = 0{,}7\,\omega\,I\,\frac{l}{\sqrt{a}}$$

ω - kružna frekvencija $= 2\pi f = 314$ (kod $f = 50$ Hz), I - trajna struja kratkog spoja u amperima, l duljina dionice približavanja u km. Treba da bude $\Sigma G \leq 107\,500$.

6. Smetnje u telefonskim vodovima od magnetskog polja jake struje.

Ako su zadovoljeni uvjeti pod 4, smetnja neće biti.

7. Utjecaj na telegrafske vodove

Obično su telegrafski vodovi na istoj trasi s telefonskim vodovima. Ako su zadovoljeni uvjeti koje traže telefonski vodovi, neće biti opasnosti ni smetnji niti za telegrafske vodove.

255 Rokovi za reviziju nadzemnih vodova

Prema »Tehničkim propisima za pogon, održavanje i reviziju elektroenergetskih postrojenja« (Dodatak Službenog lista FNRJ broj 6/57) propisane su ove revizije nadzemnih vodova:

Nadzemni vodovi visokog napona . . . . . 1 × tromjesečno
Nadzemni vodovi niskog napona . . . . . . 1 × šestomjesečno
Uzemljenja nadzemnih vodova (u sušno godišnje doba) . . . . 1 × godišnje

Osim gore navedenih rokova propisano je da se nadzemni vodovi pregledavaju poslije svakog nevremena.

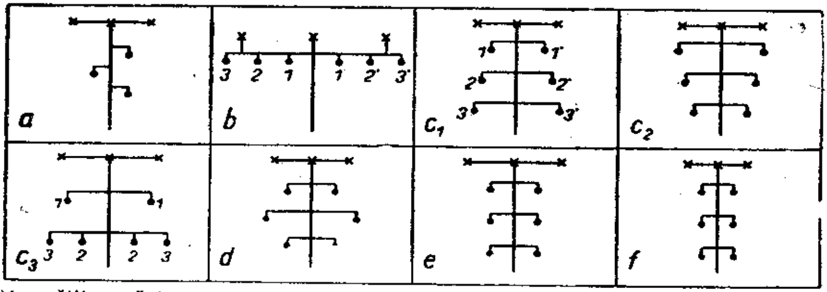
Kod nas je uobičajeno da se jedamput godišnje izvrši temeljita revizija voda visokog napona izvan pogona, s revizijom svih armatura i kontakata, pregledom izolatora, užeta i uzemljenja. U posljednje vrijeme neka poduzeća prelaze na to da jednom godišnje izvrše »testiranje« jedne manje dionice nekog voda (kojom prilikom se npr. skinu i ispitaju svi izolatori te dionice) te na temelju rezultata takvog testiranja poduzeće donosi odluku o potrebi i opsegu revizije cijelog voda.

Pregled sumnjivih izolatora, užeta i kontakata treba svakako uvijek izvršiti prilikom prvog stavljanja voda izvan pogona.
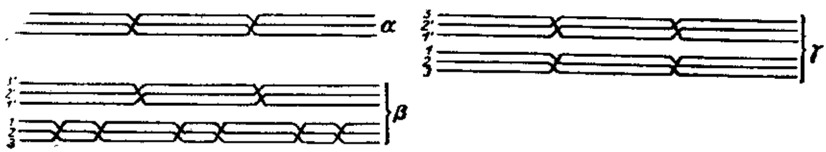
KARAKTERISTIČNE VELIČINE TROFAZNIH NADZEMNIH VODOVA kod 50 Hz 256

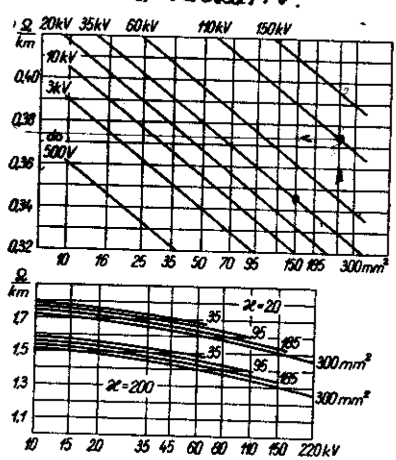
1. Raspored vodiča i zaštitnih užeta na stupu

Primjeri uz proračun karakterističnih veličina na str. 404 do 407.



× - zaštitna užeta; ako ima samo dva zaštitna užeta, otpada srednje uže, a ako je samo jedno, otpadaju oba vanjska užeta. Raspored vodiča prema slici *a* služi samo kao primjer za sve jednostruke vodove sa bilo kakvim rasporedom vodiča. Karakteristične veličine mogu se smatrati simetričnima ako je preplitanje (transpozicija) izvršeno na jedan od slijedećih načina:





(Iz Siemens, Kurzschluss-Ströme in Drehstromnetzen)

2. Prosječne vrijednosti induktivnog otpora

Vrijednosti iz dijagrama lijevo razumiju se po fazi. Tačnije vrijednosti mogu se dobiti iz dijagrama pod 4. Za približno računanje može se uzeti:

x_L = 0,36 Ω/km za vodove do 1 kV
= 0,38 „ „ „ 10 do 35 kV
= 0,40 „ „ „ 60 do 110 kV
= 0,42 „ „ „ preko 110 kV

3. Nul-reaktancija (za izračunavanje jednopolnih i dvopolnih kratkih spojeva)

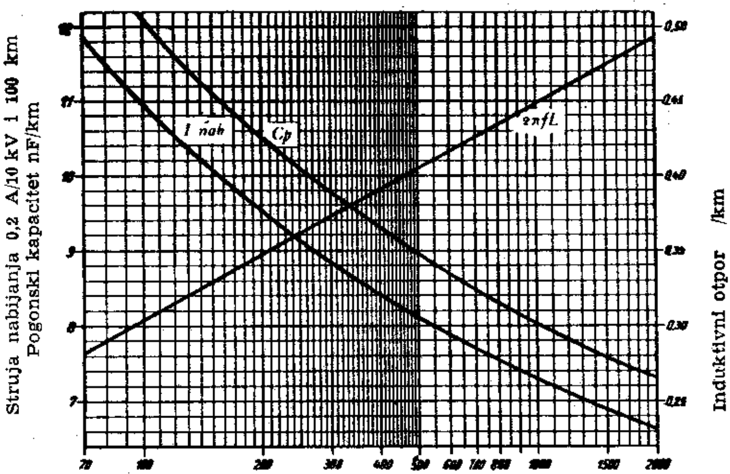
ϰ - elektr. vodljivost tla (20 µS/cm za kamenito tlo, 200 µS/cm za vlažno tlo).

Vrijednosti u dijagramu lijevo odnose se na vodove bez zaštitnog užeta, ali vrijede približno i za vodove sa zaštitnim užetom (užetima).

Karakteristične veličine trofaznih nadzemnih vodova kod 50 Hz (nastavak)

4. Induktivni otpor, pogonski kapacitet i struja nabijanja

u ovisnosti o omjeru razmaka i polumjera vodiča



Primjedbe: 1. Sve se vrijednosti odnose na jedan vodič.
2. U mjerilu struje nabijanja 10 kV je linijski napon.
3. 1 nF (nanofarad) = 10^{-9} F.
4. Srednji geometrijski razmak vodiča: $b = \sqrt[3]{b_{12} \cdot b_{23} \cdot b_{31}}$
5. Vrijednosti u dijagramu vrijede neposredno za jednostruke vodove i za dvostruke vodove sa prepletom β na strani 403. Za dvostruke vodove sa prepletom γ treba vrijednosti iz dijagrama pomnožiti s ovim korekcionim faktorima (vidi raspored vodiča na strani 403).

Raspored vodiča na stupu	b	c_1 c_2	c_3	d	e	f
Za kapacitet i struju nabijanja	0,985	0,983	0,975	0,968	0,955	0,926
Za induktivni otpor	1,015	1,018	1,026	1,034	1,047	1,080

(Prema AEG, Rechnungsgrössen für Hochspannungsanlagen.)

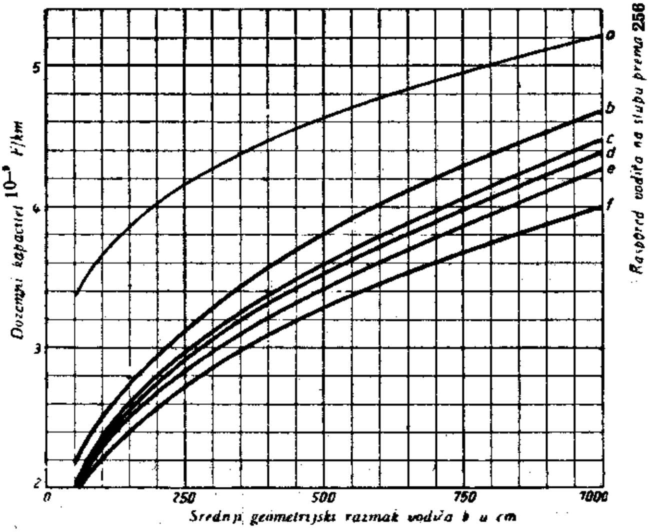
5. Valni otpor i prirodna snaga

Valni otpor $Z = \sqrt{L/C}$: prirodna snaga $P_p = U^2/Z$

Za nadzemne vodove valni otpor iznosi približno Z=375. Za tu vrijednost Z dobijemo

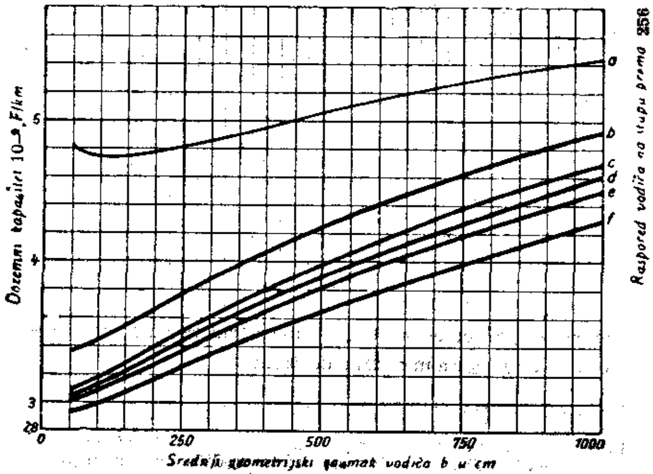
za linijski napon	10	30	35	50	60	110	220	380	kV
prirodnu snagu	0,27	2,4	3,3	6,7	9,6	32	130	385	MW

Dozemni kapacitet i struja zemljospoja trofaznih nadzemnih vodova



257a

Dozemni kapacitet po vodiču bez zaštitnog užeta uz h=15 m, r=0,7 cm*



257b

Dozemni kapacitet po vodiču uz jedno zaštitno uže te uz h=15 m, r=0,7 cm*

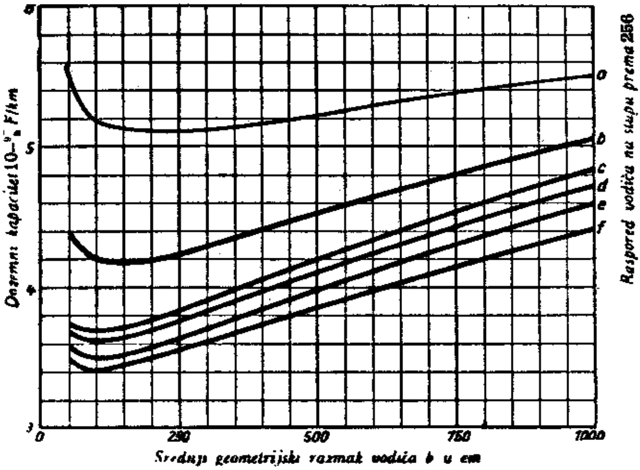
Struja zemljospoja

Računa se pomoću dozemnog kapaciteta po formulama navedenim u 34/3.6.

* Vidi primjedbe na strani 406.

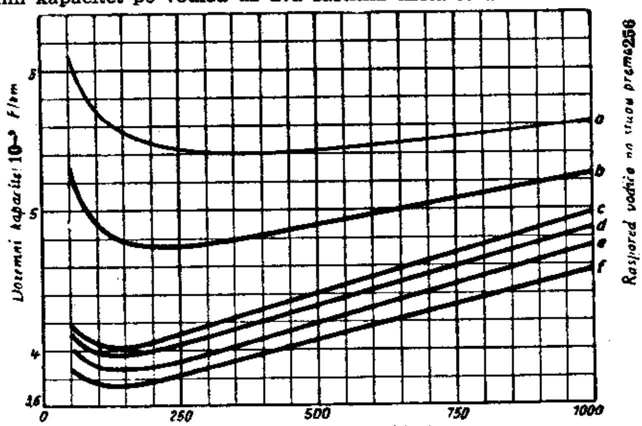
Dozemni kapacitet trofaznih nadzemnih vodova (nastavak)

257 c



Dozemni kapacitet po vodiču uz dva zaštitna užeta te uz h=15 m i r=0,7 cm

257 d



Dozemni kapacitet po vodiču uz tri zaštitna užeta te uz h=15 m i r=0,7 cm

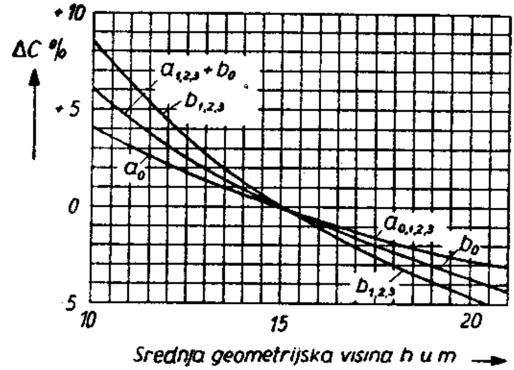
Primjedbe uz dijagrame 257a do 257d:

1. Srednji geometrijski razmak vodiča $b = \sqrt[3]{b_1 \cdot b_2 \cdot b_3}$.

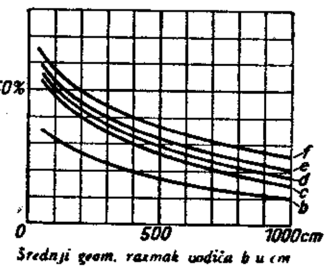
2. Srednja visina vodiča nad zemljom $h = \sqrt[3]{h_1 \cdot h_2 \cdot h_3}$. Srednja visina pojedinog vodiča $h_{1,2,3} = H_{1,2,3} - 0{,}7f$; $H_{1,2,3}$ - visina ovjesišta vodiča nad zemljom, f - provjes.

3. Dijagrami 257 a) do d) vrijede za srednju visinu vodiča nad zemljom h=15 m i polumjer vodiča r=0,7 cm, a za dvostruke vodove uz uvjete da su u pogonu oba sistema. Ako ti uvjeti nisu ispunjeni, treba vrijednosti iz dijagrama korigirati prema 257e/1 do e/3. Osim toga se preporučuje uzeti u obzir djelovanje uzemljenih dijelova u sklopnim postrojenjima prema 257e/4.

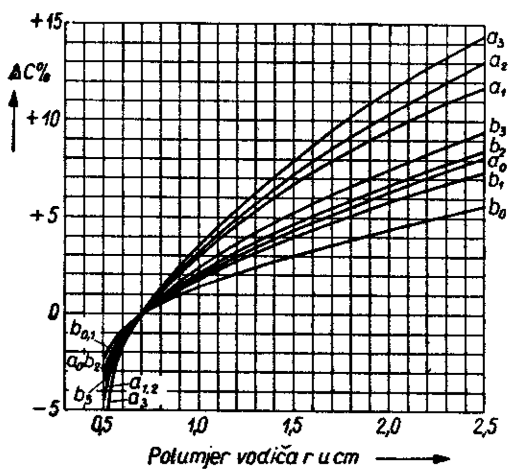
4. Dijagrami 257a do 257d i korekture prema 257e uzeti su iz AEG, Rechnungsgrössen für Hochspannungsanlagen.



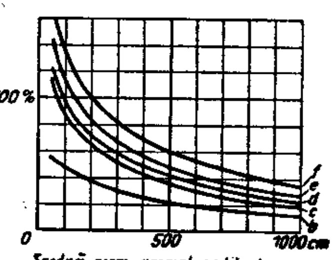
1. korektura: $h \lesseqgtr 15$ m*



3 a) korektura: Jedan sistem izvan pogona i izoliran



2. korektura: $r \lesseqgtr 0{,}7$ cm*



3 b) korektura: Jedan sistem izvan pogona i uzemljen*

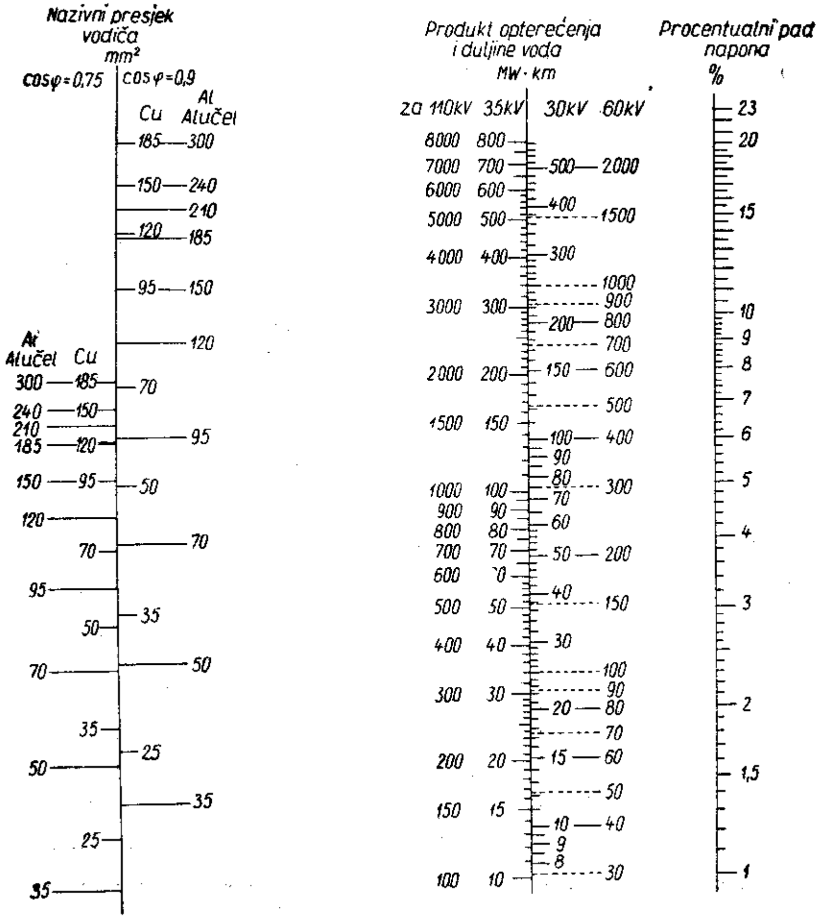
4. korektura: Utjecaj uzemljenih dijelova u sklopnim postrojenjima.

Na dobivene vrijednosti dozemnog kapaciteta preporučuje se dodati u ime ove korekture:

kod nazivnog napona (linijskog):	10	30 — 35	50 — 60	110	220	kV
ove dodatke:	16	13	11	9	7	%

* ΔC - promjena dozemnog kapaciteta u postocima, *a* - jednostruki vodovi, *b* - dvostruki vodovi. Indeks $_0$ - bez zaštitnih užeta. Indeksi $_{1,2,3}$ - broj zaštitnih užeta.

258a Pad napona u trofaznim nadzemnim vodovima 30 do 110 kV



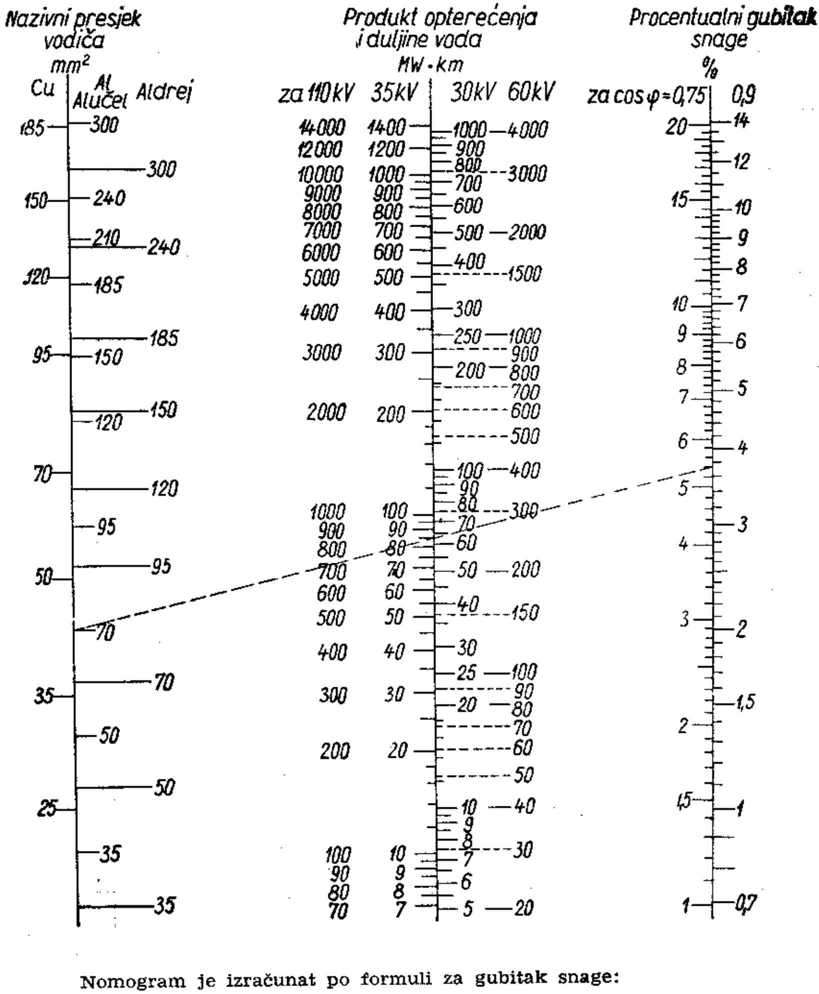
Nomogram je izračunat po približnoj formuli za pad napona:

$$u = \frac{Pl}{U^2}(r + x\,\mathrm{tg}\,\varphi)\cdot 100 \qquad [\%, \text{MW, km, kV, } \Omega/\text{km}, \Omega/\text{km}]$$

u - procentualni pad napona, P - opterećenje na kraju voda, l - duljina voda, U - linijski napon na kraju voda, r, x - djelatni odn. induktivni otpor voda (uzeto je $x = 0{,}43\ \Omega/\text{km}$), φ - fazni pomak.

Primjer vidi na strani 410.

Gubitak snage u trofaznim vodovima 30 do 110 kV



Nomogram je izračunat po formuli za gubitak snage:

$$p = \frac{Pl}{U^2} \cdot \frac{r}{\cos^2 \varphi} \cdot 100 \qquad [\%, \text{MW, km, kV, } \Omega/\text{km}]$$

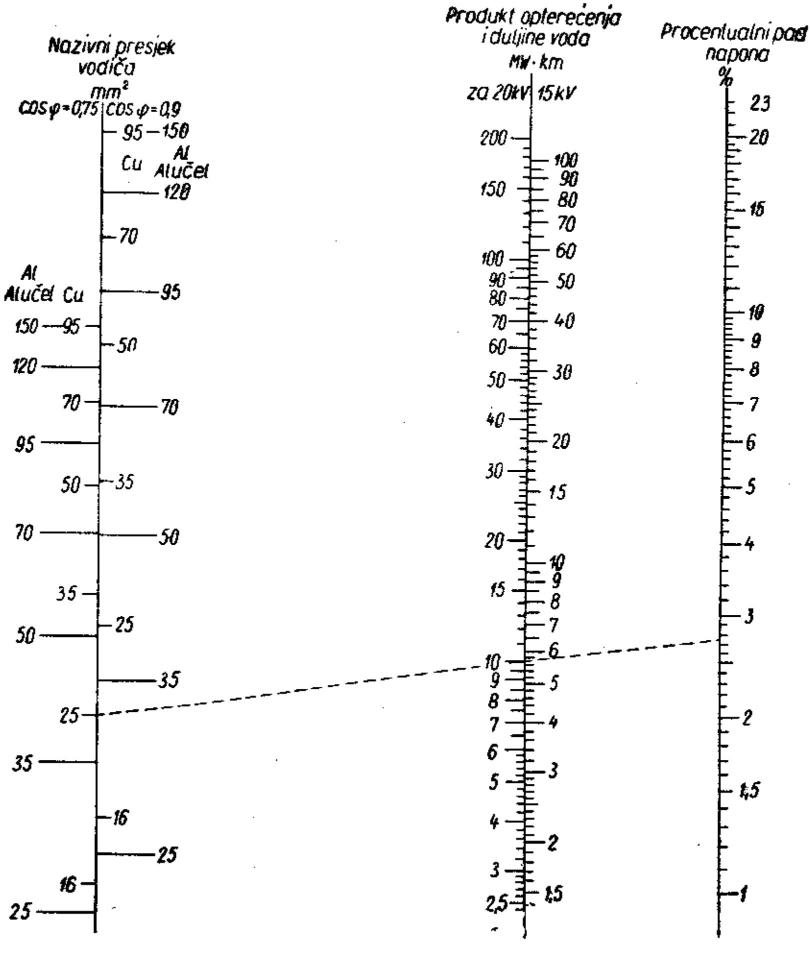
p - procentualni gubitak snage, P - opterećenje na kraju voda, l - duljina voda, U - linijski napon na kraju voda, r - djelatni otpor voda.

Primjer: P=2,5 MW, l=34 km, U=35 kV, presjek S=70 mm2 alučel, p=? — Izračunamo: Pl=85 MW · km. Iz nomograma (crtkana linija) dobijemo: za cos φ=0,75, p=5,4%; za cos φ=0,9, p=3,75%.

Za vodove 50 kV i cos φ različit od navedenog vidi stranu 413.

259 a

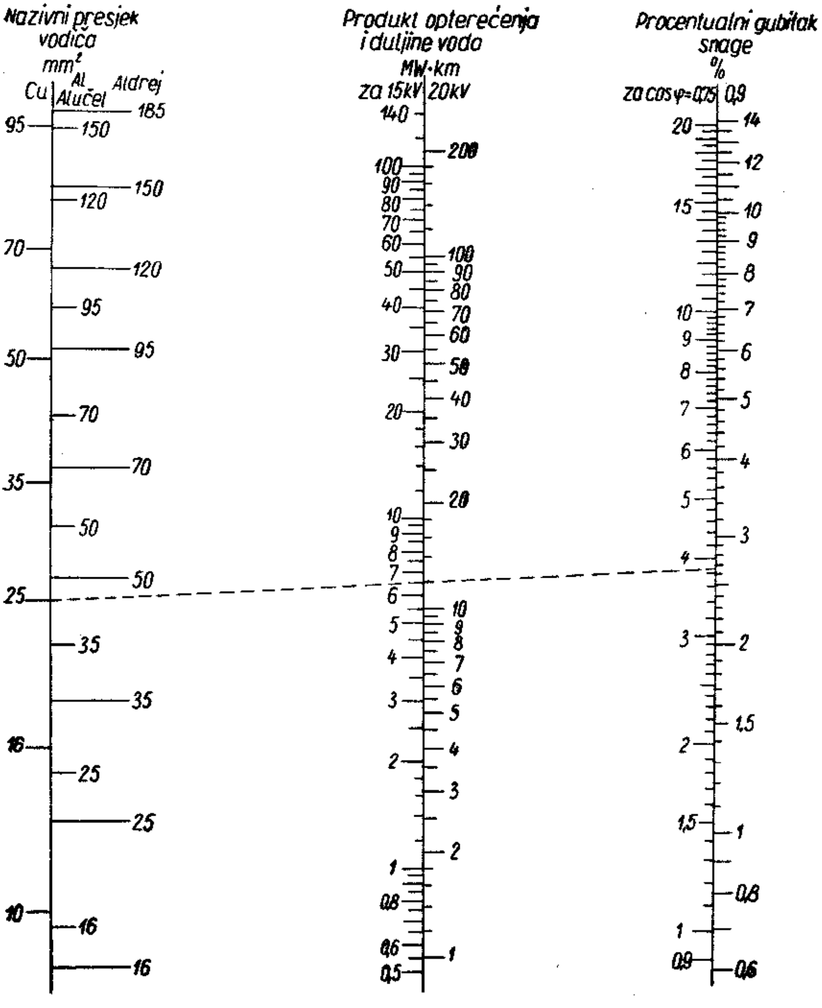
Pad napona u trofaznim nadzemnim vodovima 15 i 20 kV



Formulu za pad napona vidi na strani 408. Ovaj je nomogram izračunat sa $x = 0{,}4\ \Omega/\text{km}$.
Primjer: $P = 1250$ kW, $\cos\varphi = 0{,}75$, $l = 8$ km, $U = 20$ kV, $S = 25$ mm²Cu, $u = ?$ — Izračunamo: $Pl = 1{,}25 \cdot 8 = 12$ MW·km. Iz nomograma (crtkana linija) dobijemo $u = 2{,}75\%$.

Gubitak snage u trofaznim nadzemnim vodovima 15 i 20 kV

259 b



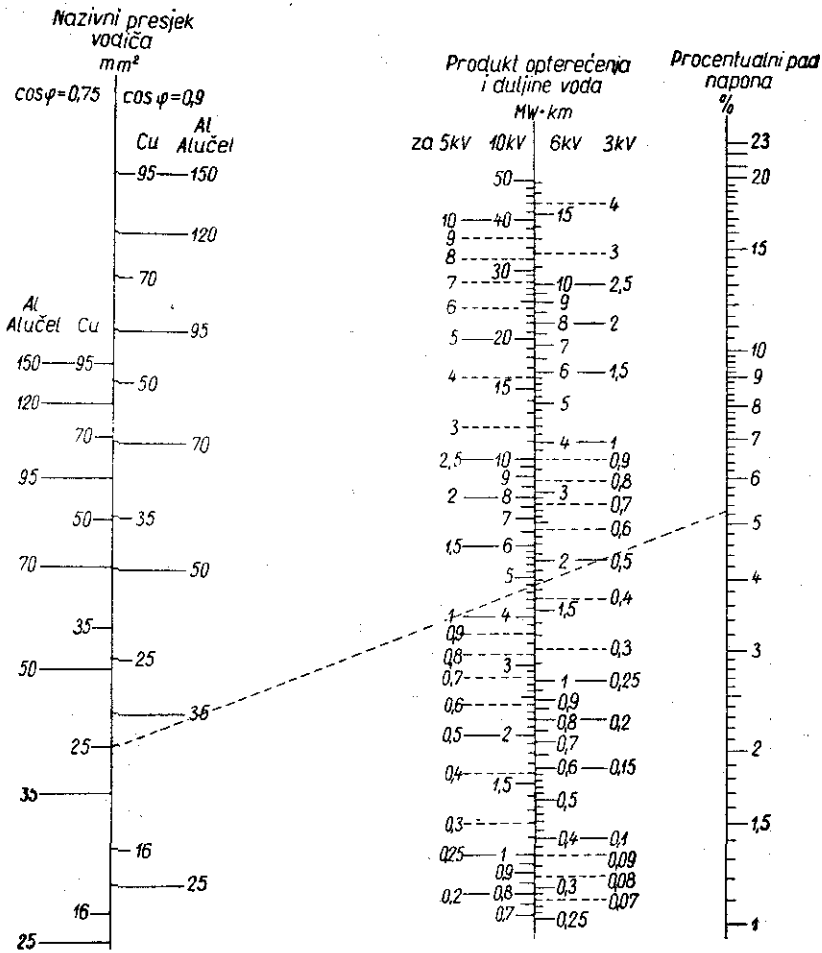
Formulu za gubitak snage vidi na strani 409.

Primjeri: a) $P = 1500$ kW, $l = 8$ km, $U = 20$ kV, $S = 25$ mm²Cu, $p = ?$ — Izračunamo: $Pl = 1{,}5 \cdot 8 = 12$ MW·km. Iz nomograma (crtkana linija) dobijemo: za $\cos\varphi = 0{,}75$, $p \approx 3{,}9\%$; za $\cos\varphi = 0{,}9$, $p \approx 2{,}7\%$.

c) Vodom $U = 15$ kV, $l = 12$ km treba prenijeti 2000 kW uz $\cos\varphi = 0{,}75$, p ne smije biti veći od 10%. Koliki je potrebni presjek bakrenog užeta? — Iz nomograma: $S = 35$ mm².

Za cos φ različit od navedenog vidi stranu 413.

260a Pad napona u trofaznim nadzemnim vodovima 3 do 10 kV

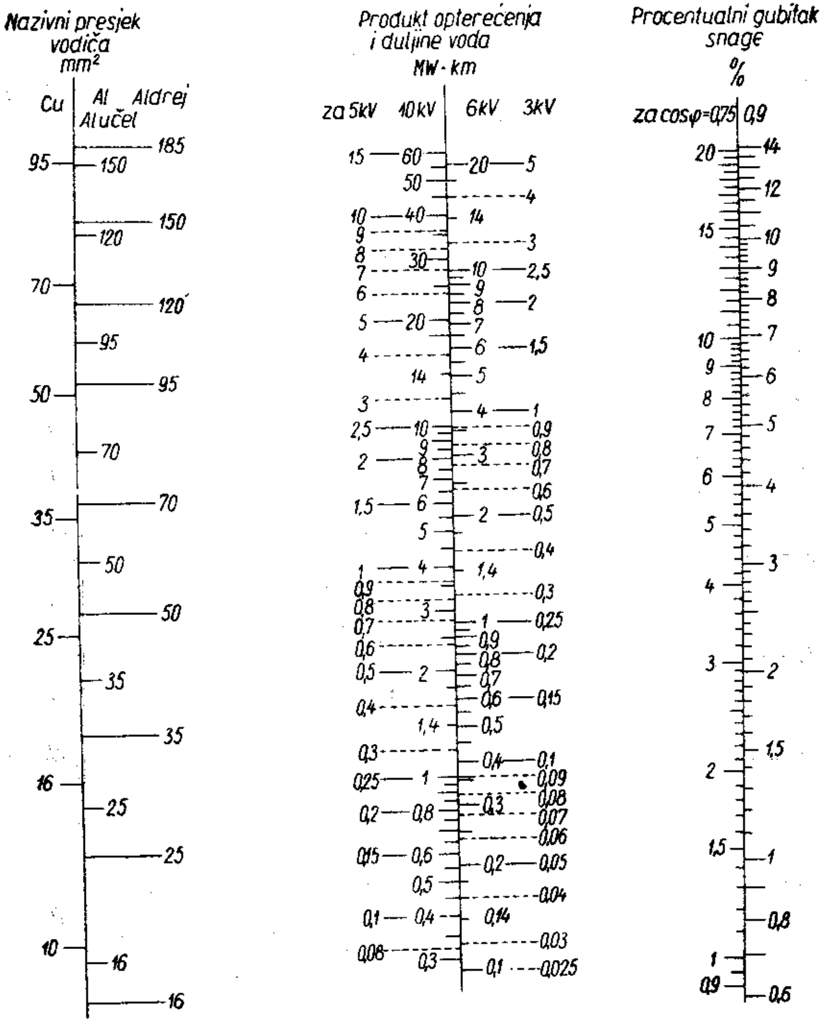


Formulu za pad napona vidi na strani 408. Ovaj je nomogram izračunat za $x = 0{,}4\ \Omega/\text{km}$.

Primjer: $P = 600$ kW, $\cos\varphi = 0{,}75$, $l = 8$ km, $U = 10$ kV, $S = 25$ mm²Cu, $u = ?$ — Izračunamo: $Pl = 0{,}6 \cdot 8 = 4{,}8$ MW·km. Iz nomograma (crtkana linija) dobijemo $u = 5{,}3\%$.

Gubitak snage u trofaznim vodovima do 10 kV

260b



Formulu za gubitak snage vidi na strani 409.

Ovaj se nomogram može upotrijebiti i za vodove 50 kV, treba samo vrijednosti srednje skale (MW · km) za 5 kV pomnožiti sa 100.

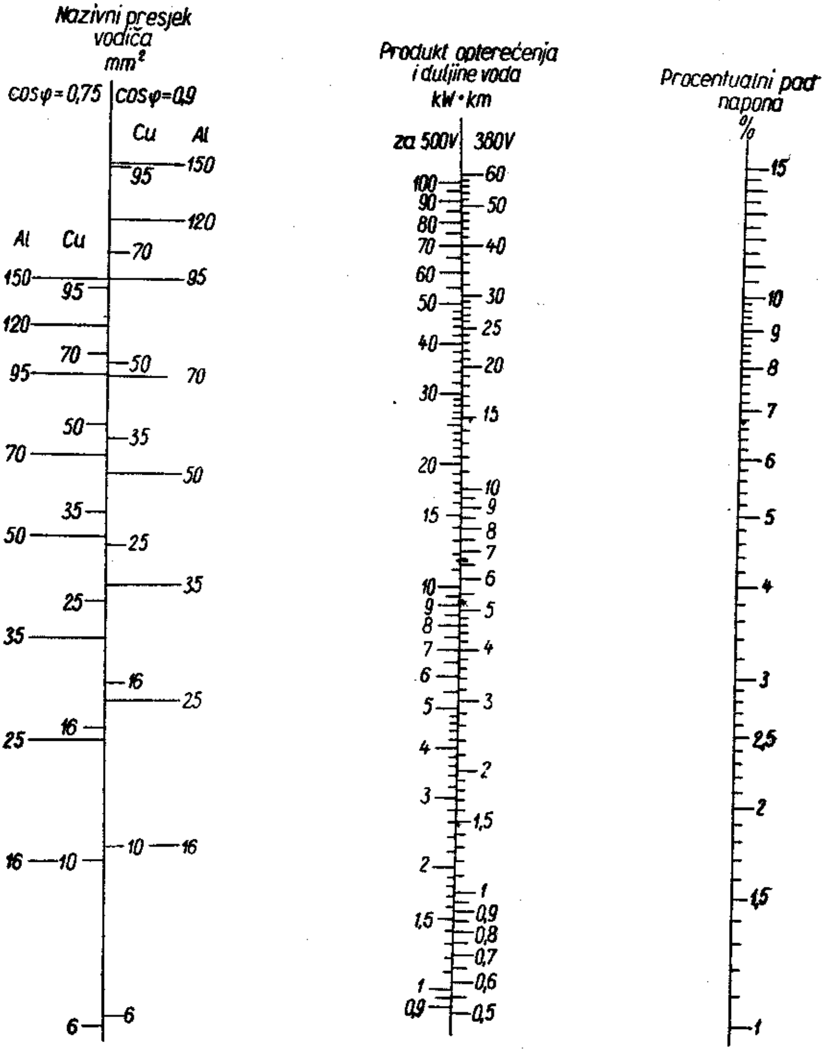
Za cos φ različit od navedenog odredi pomoću nomograma p za cos φ = 0,9 te ga pomnoži s pripadnim faktorom:

za cos φ =	0,6	0,65	0,7	0,75	0,8	0,85	0,95	1
faktor	2,25	1,92	1,65	1,45	1,27	1,12	0,90	0,81

Primjere za upotrebu nomograma vidi na strani 411.

261a

Pad napona u trofaznim nadzemnim vodovima 380 i 500 V



Nomogram je izračunat po približnoj formuli za pad napona

$$u = \frac{Pl}{U^2}(r + x\,\mathrm{tg}\varphi)\cdot 100 \qquad [\%,\ \mathrm{W},\ \mathrm{m},\ \mathrm{V},\ \Omega/\mathrm{km},\ \Omega/\mathrm{km}]$$

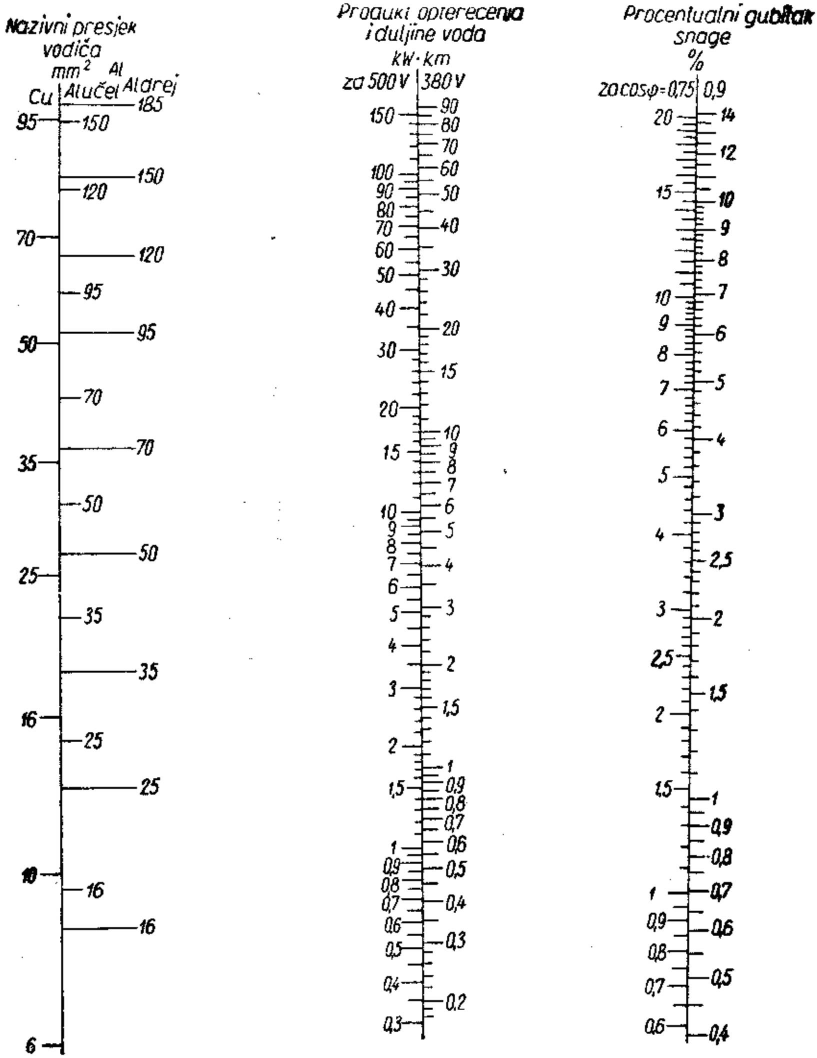
Računato je s ovim vrijednostima x za pojedine presjeke:

$S =$	6	10	16	25	50	70	95	120	150 mm²
$x =$	0,416,	0,400,	0,363,	0,352,	0,341,	0,327,	0,317,	0,310,	0,302 Ω/km

Vrijednosti za x uzete su iz Elektrotehničeskog spravočnika, 2. izdanje, str. 278.
Primjere vidi na prethodnim stranama.

Gubitak snage u trofaznim vodovima 380 i 500 V

261 b

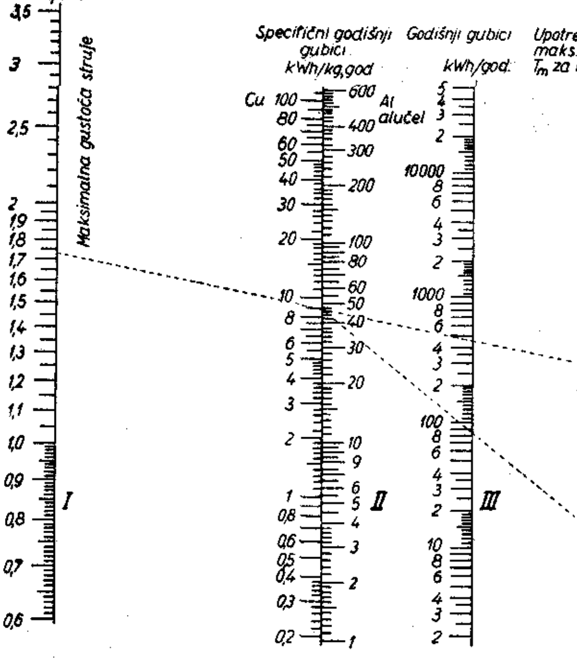


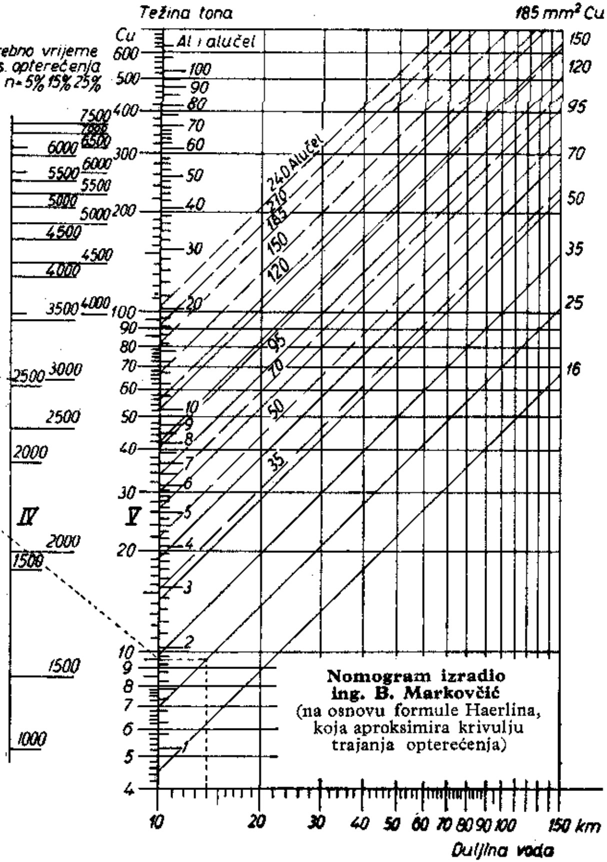
Vidi bilješke i primjere na predhodnim stranama

Upute za rješenje zadatka sa strane 416: Prema tablici 47 c (str. 106) za 600 kW, 10 kV i cos φ = 0,8 iznosi struja 43,3 A. Gustoća struje 43,3 : 25 = 1,73 A/mm². Upotrebno vrijeme maksimalnog opterećenja T_m = 1 800 000 : 600 = 3000 h. 1,73 na skali I spoji se pravcem sa 3000 za n = 15°/₀ na skali IV; sjecište na skali II daje godišnje gubitke energije u kWh po kg bakra. Za 14 km i 25 mm² Cu dobije se na skali V težina bakra; dobivena vrijednost spoji se pravcem sa sjecištem na skali II. Sjecište tog pravca sa skalom III daje tražene gubitke: 85 000 kWh ili 4,7 °/₀. (Primjedba: Gubici snage pri maks. opterećenju iznose 9,7 °/₀. Bilo bi prema tome posve pogrešno pomoću njih odrediti godišnje gubitke energije!)

262

Nomogram za određivanje gubitaka energije u trofaznim vodovima





Ucrtani primjer za upotrebu nomograma: Trofaznim vodom 10 kV, 3·25mm²Cu prenosi se godišnje 1 800 000 kWh uz maksimalno opterećenje 600 kW, cos φ = 0,8; minimalno opterećenje u % maksimalnog opterećenja: n = 15%. Koliki su godišnji gubici energije?

Pomoću nomograma određeni su traženi gubici: 85000 kWh/god. ili 4,7%. **Upute vidi na strani 415 dolje.**

Kod vodova kraćih od 10 km pomnoži duljinu voda sa 10 i rezultat podijeli sa 10.

Težina alučela na skali V je samo težina aluminija.

Nomogram izradio ing. B. Markovčić
(na osnovu formule Haerlina, koja aproksimira krivulju trajanja opterećenja)

KABELI I IZOLIRANI VODIČI

Oznake kabela i izoliranih vodiča — općenito
prema JUS N. C0.006/VIII — 1961.

Oznaka izoliranih vodiča sadrži:
- slovne simbole za oznaku posebnog područja primjene (opće područje primjene ne označuje se posebno);
- slovne simbole za oznaku vrsti materijala izolacije i plašta;
- slovne simbole za oznaku pojedinih osobina konstrukcije značajnih za primjenu;
- broj žila i nazivni presjek vodiča;
- nazivni napon (samo za vodiče visokog napona).

Oznaka kabela sadrži:
- slovne simbole za oznaku vrsti materijala izolacije i plašta;
- brojčane simbole za oznaku izvjesnih osobina konstrukcije kabela;
- slovne simbole za vrst materijala i oblik presjeka vodiča;
- broj žila i nazivni presjek vodiča;
- nazivni napon kabela.

Slovni simboli za posebna područja primjene

A — automobilski
D — za dizalice
S — za svjetiljke
Z — za zavarivanje

Slovni simboli za vrst izolacije i zaštite

P — polivinil
G — guma
E — polietilen
T — tekstil
N — neopren (polikloropren)
IP — impregnirani papir
NP — naročito impregnirani papir
B — butil guma
S — silikonska guma
L — lakirana tkanina
F — *izolaciona folija*
A — aluminijski plašt
O — olovni plašt
ZO — zaseban olovni plašt za svaku žilu
MT — metalna cijev od čelične trake s uzdužnim šavom
AT — isto, od alum. trake
CZ — isto, od cinkove trake

Redoslijed slova ide od vodiča prema vanjskom plaštu kad se slovnim simbolima iz ove grupe označuje vrst izolacije i zaštite.

Slovni simboli za konstruktivne osobine važne za primjenu

A — atmosferilijama otporan
F — finožičan
J — jača konstrukcija
K — kalajisan (pokositren)*
L — lakša konstrukcija
M — mnogožičan
N — nezapaljiv
O — ojačan elementom za nošenje
P — použen
R — s razmaknutim žilama
S — naročito savitljiv
T — viša termička klasa
U — s uporednim žilama
V — visokonaponski
Z — s električnom zaštitom

* Simbol K upotrebljava se samo za one vodiče za koje kalajisanje (kositrenje) nije obavezno.

264

Vrsti podzemnih kabela

Oznake prema JUS N. C0.006/VIII — 1961 (u zagradi prema VDE)

Posebne oznake za aluminijske žile i sektorski presjek (vidi pod g).

a) Kabeli s papirnom izolacijom i olovnim plaštem

IPO 00 (NK) — kabel s golim olovnim plaštem.
IPO 01 (NKA) — kabel sa zaštitnim ovojem protiv korozije (vlakna impregnirana kompaund-masom).
IPO 04 (NKY) — kabel sa zaštitnim plaštem od pvc-mase.
IPO 10 (NKB) — kabel armiran dvostrukom čeličnom trakom.
IPO 13 (NKBA) — kabel armiran dvostrukom čeličnom trakom i ovijen ovojem impregniranim kompaund-masom protiv korozije.
IPO 14 (NKBY) — kao IPO 13, ali s plaštem od pvc-mase umjesto ovoja.
IPO 20 (NKR) — kabel armiran okruglom čeličnom žicom.
IPO 21 (NKRGb) — kabel armiran okruglom čeličnom žicom i zavojnicom (protuspiralom) od čelične trake.
IPO 22 (NKRG) — kabel armiran okruglom čeličnom žicom i zavojnicom od plosnate žice.
IPO 23 (NKRA) — kabel armiran okruglom čeličnom žicom i ovijen ovojem impregniranim kompaund-masom protiv korozije.
IPO 24 (NKRY) — kao IPO 23, ali s plaštem od pvc-mase umjesto ovoja.
IPO 26 (NKRRA) — kabel armiran sa dva sloja okrugle čelične žice i ovijen ovojem impregniranim kompaund-masom protiv korozije.
IPO 30 (NKF) — kabel armiran plosnatom čeličnom žicom.
IPO 31 (NKFGb) — kabel armiran plosnatom čeličnom žicom i zavojnicom od čelične trake.
IPO 32 (NKFG) — kabel armiran plosnatom čeličnom žicom i zavojnicom od plosnate čelične žice.
IPO 33 (NKFA) — kabel armiran plosnatom čeličnom žicom i ovijen ovojem impregniranim kompaund-masom protiv korozije.
IPO 34 (NKFY) — kao IPO 33, ali s pvc-masom umjesto ovoja.

b) Kabeli s papirnom izolacijom i olovnim plaštem za svaku žilu.

IPZO 13 (NEKBA ili NHEKBA) — kabel armiran dvostrukom čeličnom trakom i ovijen ovojem impregniranim kompaund-masom protiv korozije.

IPZO 14 (NEKBY ili NHEKBY) — kabel armiran dvostrukom čeličnom trakom i zaštićen od korozije plaštem od pvc-mase.

IPZO 23 (NEKRA ili NHEKRA) — kabel armiran okruglom čeličnom žicom i ovijen ovojem impregniranim kompaund-masom protiv korozije.

c) Kabeli s izolacijom od gume i olovnim plaštem

Slovna oznaka GO, inače su građeni jednako i imaju jednake brojčane simbole prema JUS kao i kabeli s papirnom izolacijom. Oznaka prema VDE razlikuje se samo po tome što između slova N i K dolazi slovo G. Na primjer:

GO 13 (NGKBA) — kabel armiran dvostrukom čeličnom trakom i ovijen ovojem impregniranim kompaund-masom protiv korozije.

d) Kabeli s izolacijom od plastične mase i olovnim plaštem

Slovna oznaka PO, inače su građeni jednako i imaju jednake brojčane oznake prema JUS kao i kabeli s papirnom izolacijom. Oznaka prema VDE razlikuje se samo po tome što između slova N i K dolazi slovo Y. Na primjer:
PO 04 (NYKY) — kabel sa zaštitnim plaštem od pvc-mase.

e) Kabeli s izolacijom i plaštem od pvc-mase (termoplastični kabeli)

PP 00 (NYY) — obični kabel s izolacijom i plaštem od pvc-mase (bez armature).

PP 40 (NYCY) — nulvodič smješten koncentrično preko použenih žila, preko toga plašt od pvc-mase.

PP 41 (NYBY) — omot od dvije čelične trake, preko toga plašt od pvc-mase.

PP 42 (NYRY) — omot od pocinčanih čeličnih žica, preko toga plašt od pvc-mase.

PP 43 (NYFY) — omot od pocinčane plosnate čelične žice, preko toga plašt od pvc-mase.

PP 44 (NYRGbY) — omot od pocinčane okrugle čelične žice i zavojnica od čelične trake, preko toga plašt od pvc-mase.

PP 45 (NYFGbY) — omot od pocinčane plosnate čelične žice i zavojnica od čelične trake, preko toga plašt od pvc-mase.

PP 46 (NYQY) — omot od pocinčane okrugle čelične žice, preko toga plašt od pvc-mase.

PP 47 (NYCY) — električna i druga zaštita smještena koncentrično oko použenih žila, preko toga plašt od pvc-mase.

f) Kabeli s izolacijom od polietilena i plaštem od pvc-mase.

Slovna oznaka EP, inače su građeni jednako i imaju jednake brojčane oznake prema JUS kao i kabeli pod e). Oznaka prema VDE jednaka je kao pod e) samo što umjesto Y dolazi 2Y. Na primjer:

EP 00 (N2YY) — kabel s izolacijom od polietilena i plaštem od pvc-mase.

g) Vrst materijala i oblik presjeka vodiča

Ako je materijal bakar, materijal se ne označuje posebno; ako je materijal aluminij, oznaka je A. Ako je presjek vodiča okrugao, to se ne označuje posebno; ako je sektorski, oznaka je S.

h) Primjeri potpune oznake kabela

IPO 13 — AS 3×120 mm² 10 kV — kabel IPO 13 (vidi a) s aluminijskim žilama sektorskog oblika, presjeka 3×120 mm², za nazivni (linijski) napon 10 kV.

PP 41 — 3×25+16 mm² 1 kV — kabel PP 41 (vidi e) s bakrenim žilama okruglog oblika, presjeka 3×25+16 mm², za nazivni (linijski) napon 1 kV (kabel za niski napon).

265 ## Upotreba pojedinih vrsti kabela

a) Kabeli s papirnom izolacijom i olovnim plaštem

IPO 00 (NK) — Za polaganje u zgradama gdje je kabel zaštićen od mehaničkog oštećenja i djelovanja vlage na olovni plašt. Ako postoji opasnost titranja (npr. u nekim industrijskim i elektroprivrednim postrojenjima) ne treba upotrijebiti takav kabel.

IPO 01 (NKA) — Za polaganje u zgradama i u zemlju gdje nema opasnosti mehaničkog oštećenja niti titranja.

IPO 04 (NKY) — Kao IPO 01 (NKA), osobito u zgradama gdje je važna negoriva zaštita od korozije kao i tamo gdje bi inače trebala pojačana zaštita od korozije.

IPO 10 (NKB) — Za polaganje u kabelskim kanalima, rasklopnim postrojenjima i sl. gdje kabeli moraju biti mehanički zaštićeni, ali nema opasnosti korozije.

IPO 13 (NKBA) — Za polaganje u zemlju i u vlažnim prostorijama. U zgradama pazi na opasnost požara! Ako je opasnost korozije povećana, bolje je upotrijebiti IPO 14 (NKBY).

IPO 14 (NKBY) — Kao IPO 13, osobito gdje postoji opasnost požara ili gdje je povećana opasnost korozije.

IPO 20 (NKR) — Za polaganje tamo gdje je kabel mehanički jače opterećen, a ne prijeti opasnost korozije.

IPO 21 (NKRGb) — Za polaganje tamo gdje je kabel mehanički jako opterećen, a ne prijeti opasnost korozije, naročito u suhim rudničkim oknima.

IPO 22 (NKRG) — Kao IPO 22 (NKRGb).

IPO 23 (NKRA) — Za polaganje kao IPO 13 (NKBA), ali tamo gdje se pri polaganju ili u pogonu očekuju jača naprezanja na zatezanje.

IPO 24 (NKRY) — Za polaganje u zemlju ili u vlažnim prostorijama gdje se pri polaganju ili u pogonu očekuju jača naprezanja na zatezanje, a k tome prijeti opasnost požara ili je opasnost korozije povećana.

IPO 26 (NKRRA) — Za polaganje tamo gdje se očekuju naročito velika naprezanja na zatezanje.

IPO 30 (NKF) — Kao IPO 20 (NKR).

IPO 31 (NKFGb) — Kao IPO 21 (NKRGb).

IPO 32 (NKFG) — Kao IPO 22 (NKRG).

IPO 33 (NKFA) — Kao IPO 23 (NKRA).

IPO 34 (NKFY) — Kao IPO 24 (NKRY).

IPZO 13 (NHEKBA) — Kao IPO 13 (NKBA), ali za napone od 15 kV naviše (u nas samo 30 i 35 kV).

IPZO 14 (NHEKBY) — Kao IPO 14 (NKBY), ali za napone od 15 kV naviše (u nas samo 30 i 35 kV).

b) Kabeli s izolacijom i plaštem od pvc-mase

PP 00 (NYY) — Za polaganje u zemlju ili vodu gdje ne treba očekivati mehanička oštećenja. Pogodan i za polaganje na otvorenom jer je otporan prema atmosferilijama, a i za zgrade i kabelske kanale jer ne gori i otporan je prema koroziji.

PP 40 (NYCY) — Kao PP 00, ali tamo gdje se mora računati s oštećenjem u pogonu, npr. udarcem pijukom.

Kabeli s izolacijom i plaštem od pvc-mase upotrebljavaju se sve više. Njihove prednosti i mane prema kabelima s papirnom izolacijom i olovnim plaštem jesu:

Prednosti pvc-kabela:

1. Nisu potrebni kabelski zaglavci (to je naročita prednost ako je duljina mala) pa je jednostavnije polaganje.
2. Mala težina jer nema olovnog plašta, a ponekad ni armature.
3. Veća fleksibilnost (manji polumjer savijanja).
4. Otpornost na vibracije jer nema rekristalizacije kao u olovnom plaštu.
5. Postojani su na atmosferske i kemijske utjecaje i negorivi su.
6. Nema problema cijeđenja ulja u slučaju većih visinskih razlika.

Mane pvc-kabela

1. Podnose manju temperaturu kratkog spoja što često traži veći presjek, a to je naročito nepovoljno ako je kabel dug.
2. Ponekad ih nagrizaju glodavci (štakori).

c) Kabeli sa gumenom izolacijom

Upotrebljavaju se danas uglavnom još samo kao vodovi za pokretna trošila (osobito za teška pokretna trošila), kao brodski kabeli i u specijalne svrhe (osobito za teška pokretna trošila), kao brodski kabeli i u specijalne svrhe. Sa drugih područja istisli su ih kabeli s izolacijom i plaštem od pvc-mase.

d) Granice s obzirom na napon

Kabeli s papirnom pojasnom izolacijom (npr. IPO 13, NKBA) upotrebljavaju se redovno do 10 kV, izuzetno do 30 kV.

Kabeli s izolacijom od pvc-mase (npr. PP 00, NYY) upotrebljavaju se za napone do 10 kV, izuzetno do 20 kV.

H-kabeli (Höchstädterovi kabeli), tj. kabeli s papirnom izolacijom i metalnom folijom (npr. NHKBA upotrebljavaju se za napon od 10 do 20 kV.

Kabeli s papirnom izolacijom i tri olovna plašta (npr. IPZO 13, NHEKBA) upotrebljavaju se između 3 i 60 kV, u nas praktički samo za 30 i 35 kV.

Trožilni uljni kabeli: 30 do 132 kV (u nas za 110 kV).

Jednožilni uljni kabeli: 30 do 380 kV (u nas za 110 i 220 kV).

Tlačni kabeli u čeličnoj cijevi: 30 do 220 kV.

Tlačni kabeli s unutarnjim tlakom: 6 kV (za rudničke kabele i druge kabele s velikim visinskim razlikama) do 132 kV.

266 Podaci o energetskim papirnim kabelima do 10 kV

(Kabeli s bakrenim vodičima, papirnom izolacijom i olovnim plaštem)

Nazivni presjek mm²	Promjer kabela mm	Težina kabela kg/km	Normalna duljina m	Bubanj broj	Nazivni presjek mm²	Promjer kabela mm	Težina kabela kg/km	Normalna duljina m	Bubanj broj
Kabel 1 kV, dvožilni IPO 13 (NKBA)					**Kabel 1 kV, trožilni, IPO 10 (NKB)**				
2× 1,5	17	778	1000	12	3× 1,5	14,5	748	1000	12
2× 2,5	18	885	1000	12	3× 2,5	15,5	835	1000	12
2× 4	19	960	1000	14	3× 4	16,5	952	1000	12
2× 6	20	1087	1000	14	3× 6	17,5	1094	1000	12
2× 10	21,5	1292	1000	14	3× 10	19,5	1354	1000	14
2× 16	23,5	1495	1000	16	3× 16	21,5	1660	1000	14
2× 25 S	25	1793	1000	16	3× 25 S	23	2140	1000	16
2× 35 S	27,5	2208	1000	18	3× 35 S	26	2600	1000	16
2× 50 S	29	2640	1000	18	3× 50 S	28,5	3112	1000	18
2× 70 S	31	3100	500	14	3× 70 S	31,5	4010	1000	18
2× 95 S	33,5	3870	500	16	3× 95 S	35	5200	500	16
2×120 S	36	4575	500	16	3×120 S	39,5	6580	500	18
2×150 S	41,5	6050	500	18	3×150 S	43,5	7993	500	20
2×185 S	44,5	7177	500	20	3×185 S	47	9400	500	20
2×240 S	48,5	8668	500	20	3×240 S	53	11910	500	22
2×300 S	53	10480	500	20	3×300 S	57	14408	500	22
2×400 S	58,5	12950	500	24	3×400 S	65	18910	400	22
Kabel 1 kV, trožilni, IPO 13 (NKBA)					**Kabel 1 kV, trožilni, IPO 23 (NKRA)**				
3× 1,5	17,5	838	1000	12	3× 1,5	19	1010	1000	12
3× 2,5	18,5	923	1000	14	3× 2,5	20	1100	1000	14
3× 4	19,5	1040	1000	14	3× 4	21	1220	1000	14
3× 6	20,5	1192	1000	14	3× 6	22	1410	1000	14
3× 10	22,5	1443	1000	14	3× 10	24,5	1750	1000	14
3× 16	25	1750	1000	16	3× 16	26,5	2060	1000	16
3× 25 S	26	2238	1000	16	3× 25 S	27,5	2590	1000	16
3× 35 S	29	2688	1000	18	3× 35 S	31,5	3350	1000	18
3× 50 S	31,5	3310	1000	18	3× 50 S	34	3990	1000	20
3× 70 S	34,5	4184	1000	20	3× 70 S	37	4920	1000	20
3× 95 S	38	5292	500	16	3× 95 S	40,5	6080	500	16
3×120 S	42,5	6680	500	18	3×120 S	45	7910	500	18
3×150 S	46,5	8178	500	20	3×150 S	50	9400	500	20
3×185 S	50	9590	500	20	3×185 S	53,5	10920	500	20
3×240 S	56	12080	500	22	3×240 S	61,5	14700	500	24
3×300 S	60	14575	450	22					
3×400 S	69	19100	400	24					

Primjedbe uz tablice

1. Svi podaci u ovim tablicama dobiveni su od Fabrike kablova »Moša Pijade«, Svetozarevo. Ona proizvodi vrlo širok asortiman papirnih kabela. Izradbeni presjek kabela praktički je jednak nazivnom presjeku.

2. Slovo S označuje sektorski oblik žila.

3. Normalna duljina je tzv. tvornička duljina u kojoj se kabel normalno isporučuje.

Daljnje primjedbe vidi na narednoj strani.

Podaci o papirnim kabelima do 10 kV (nastavak)

Nazivni presjek mm²	Promjer kabela mm	Težina kabela kg/km	Normalna duljina m	Bubanj broj	Nazivni presjek mm²	Promjer kabela mm	Težina kabela kg/km	Normalna duljina m	Bubanj broj
Kabel 1 kV, četvorožilni, IPO 10 (NKB)					Kabel 1 kV, četvorožilni, IPO 13 (NKBA)				
4×1,5	15,5	819	1000	12	4× 1,5	19	910	1000	14
4×2,5	16,5	936	1000	12	4× 2,5	20	1040	1000	14
4×4	17,5	1085	1000	12	4× 4	21	1138	1000	14
4×6	19	1255	1000	14	4× 6	22,5	1342	1000	14
4×10	21	1560	1000	14	4×10	24,5	1670	1000	16
4×16	23	2000	1000	14	4×16	27	2100	1000	18
3× 25+ 16S	26	2470	1000	16	3× 25+ 16S	29	2500	1000	18
3× 35+ 16S	29	3120	1000	18	3× 35+ 16S	32,5	3230	1000	20
3× 50+ 25S	32	3800	1000	20	3× 50+ 25S	35,5	3970	1000	20
3× 70+ 35S	37,5	5420	500	16	3× 70+ 35S	41	5500	500	18
3× 95+ 50S	42	6730	500	20	3× 95+ 50S	45	6890	500	20
3×120+ 70S	45	8040	500	20	3×120+ 70S	48	8100	500	20
3×150+ 70S	49	9700	500	20	3×150+ 70S	52	9670	500	22
3×185+ 95S	55	11890	400	20	3×185+ 95S	58,5	12090	400	22
3×240+120S	61	14920	400	22	3×240+120S	64	15070	400	22
3×300+150S	69	18860	300	22	3×300+150S	73	19300	300	24
3×400+185S	76	23830	300	24	3×400+185S	80	24000	300	26
Kabel 10 kV, trožilni, IPO 10 (NKB)					Kabel 10 kV, trožilni, IPO 13 (NKBA)				
3× 10	30,5	2620	1000	18	3× 10	33,5	2730	1000	20
3× 16	32,5	3000	1000	20	3× 16	35,5	3090	1000	20
3× 25S	35	3620	1000	20	3× 25S	38	3770	1000	22
3× 35S	37,5	4380	1000	22	3× 35S	40,5	4460	1000	22
3× 50S	39,5	4980	500	18	3× 50S	43	5180	500	18
3× 70S	43	6130	500	20	3× 70S	46	6290	500	20
3× 95S	46,5	7420	500	20	3× 95S	50	7580	500	20
3×120S	50	8500	500	20	3×120S	53	8730	500	22
3×150S	53	10050	500	22	3×150S	56	10170	500	22
3×185S	56	11500	500	22	3×185S	59	11720	450	22
3×240S	61,5	14050	450	24	3×240S	64,5	14330	400	22
3×300S	67,5	17450	400	24	3×300S	71,5	17650	300	22

Nastavak primjedaba uz tablice

4. Bubnjevi su standardizirani. Podatke vidi u 283.

5. Debljina papirne izolacije iznosi: prvi broj izolacija vodič-vodič, drugi broj izolacija vodič-plašt:

Napon 1 kV, presjek mm²	1,5 do 16	25 do 120	150 i 185	240 do 400
Izolacija mm	1,6/1,2	1,8/1,5	2,2/1,7	2,4/2,0

Napon 3 kV za sve presjeke do 185 mm²: 3,0/2,0 mm; za deblje presjeke 3,2/2,2 mm.

Napon 6 kV, za sve presjeke: 5,2/3,1 mm.

Napon 10 kV, za sve presjeke: 6,4/3,7 mm.

267 Podaci o energetskim termoplastičnim kabelima do 10 kV

Nazivni presjek mm²	Promjer kabela mm	Težina kabela kg/km	Normalna duljina m	Bubanj broj	Nazivni presjek mm²	Promjer kabela mm	Težina kabela kg/km	Normalna duljina m	Bubanj broj
Kabel 1 kV, dvožilni PP 00 (NYY)					Kabel 1 kV, dvožilni, PP 00 (NYY)				
2×1,5	10,8	185	1000	9	3×1,5	11,8	210	1000	10
2×2,5	12,4	240	1000	10	3×2,5	13,0	275	1000	10
2×4	13,8	310	1000	12	3×4	14,6	355	1000	12
2×6	14,8	380	1000	12	3×6	15,6	445	1000	12
2×10	16,4	505	500	10	3×10	17,2	605	1000	12
2×16	18,2	680	500	10	3×16	19,6	855	750	12
2×25	24,0	1130	500	12	3×25	25,4	1380	500	14
2×35	26,4	1440	250	10	3×35S	26,0	1570	500	14
2×50	30,8	1950	250	12	3×50S	29,0	2120	500	14
2×70	34,8	2630	250	12	3×70S	33,0	2880	250	12
2×95	39,0	3420	250	14	3×95S	37,2	3800	250	14
2×120	42,8	4130	250	14	3×120S	40,6	4630	250	14
2×150	47,8	5070	250	16	3×150S	45,4	5780	250	14
2×185	52,6	6170	250	16	3×185S	49,6	7030	250	16
2×240	59,2	8160	250	18	3×240S	55,6	8980	250	16
Kabel 1 kV, četvorožilni, PP 00 (NYY)					Kabel 1 kV, trožilni, PP 45 (NYFGbY)				
4×1,5	12,4	237	1000	10	3×1,5	14,2	460	1000	10
4×2,5	13,8	315	1000	10	3×2,5	15,2	550	1000	12
4×4	15,6	418	1000	12	3×4	17	650	1000	12
4×6	16,8	529	1000	12	3×6	18,2	767	1000	12
4×10	19,2	753	1000	12	3×10	20,2	973	500	12
4×16	22,2	851	500	12	3×16	21,8	1250	500	12
3×25+16	27,6	1600	500	14	3×25	23,6	1630	500	14
3×35+16S	28,8	1790	500	14	3×35S	24,6	1800	500	14
3×50+25S	33,0	2560	500	16	3×50S	28,6	2530	500	14
3×70+35S	35,4	3320	250	12	3×70S	31,6	3240	250	12
3× 95+ 50S	39,2	4380	250	14	3× 95S	35,6	4040	250	14
3×120+ 70S	46,0	5590	250	14	3×120S	38,2	4870	250	14
3×150+ 70S	48,2	6620	250	16	3×150S	42,2	5780	250	14
3×185+ 95S	55,2	8270	250	16	3×185S	46,6	7300	250	16
3×240+120S	61,6	10520	250	18	3×240S	52,6	9280	250	16

Primjedbe uz tablice

1. Svi podaci za kabele u ovim tablicama dobiveni su od Fabrike kablova »Moša Pijade« Svetozarevo, osim za kabel PP 40 (NYCY) koji su uzeti iz priručnika Siemens, Kabel und Leitungen für Starkstrom.

2. Izradbeni presjek kabela praktički je jednak nazivnom presjeku.

3. Slovo S označuje sektorski oblik žila.

4. Normalna duljina je tzv. tvornička duljina u kojoj se kabel normalno isporučuje.

Daljnje primjedbe vidi na narednoj strani.

Podaci o termoplastičnim kabelima do 10 kV (nastavak)

Nazivni presjek mm²	Promjer kabela mm	Težina kabela kg/km	Normalna duljina m	Bubanj broj
Kabel 1 kV, trožilni, PO 13 (NYKBA)				
3×1,5	19,2	1000	500	10
3×2,5	20,4	1150	500	12
3×4	21,8	1335	500	12
3×6	23,4	1500	500	12
3×10	24,4	1780	500	12
3×16	26,6	2250	300	12
3×25	33,2	3260	300	12
3×35S	30	2895	300	12
3×50S	34	3750	300	12
3×70S	36	4590	300	14
3× 95S	41	5905	250	14
3×120S	46	7600	250	14
3×150S	50	9025	250	16
3×185S	55	10775	250	16
3×240S				
Kabel 10 kV, trožilni, PP 45 (NYFGbY)				
3×10	36,8	2550	250	14
3×16	38,8	2920	250	14
3×25	43,2	3645	250	14
3×35	46,8	4370	250	16
3×50	50,2	5260	250	16
3×70	54,2	6320	250	16
3×95	58,6	7520	250	16
3×120	63,0	8900	250	20
3×150	66,2	10110	250	20
3×185	70,6	11660	250	22
3×240	78,4	15160	250	24

Nazivni presjek mm²	Promjer kabela mm	Težina kabela kg/km	Normalna duljina m	Bubanj broj
Kabel 1 kV, četvorožilni, PP 40 (NYCY)				
3×1,5+1,5	12,5	230	1000	9
3×2,5+2,5	14	320	1000	10
3×4+4	15,5	410	1000	12
3×6+6	16,5	530	1000	12
3×10+10	18,5	730	1000	14
3×16+16	21	1050	500	14
3×25+16	27	1600	500	14
3×35S+16	25	1500	500	14
3×50S+25	28,5	2150	500	14
3×70S+35	33	2850	500	14
3× 95S+ 50	37	3950	500	16
3×120S+ 70	40	4950	250	14
3×150S+ 70	44	5900	250	16
3×185S+ 95	49	7300	250	16
3×240S+120	53	9350	250	18

Debljina izolacije termoplastičnih kabela u milimetrima

Nazivni presjek mm²	Kabeli 1 kV		Kabeli 6 kV	Kabeli 10 kV
	jednožilni	višežilni	jedno i višežilni	
1,5	1,3	0,8	—	—
2,5	1,3	0,9	—	—
4 do 16	1,3	1,0	3,0	4,5
25 i 35	1,5	1,2	3,2	4,5
50 i 70	1,5	1,4	3,2	4,5
95	1,6	1,6	3,2	4,5
120	1,6	1,6	3,4	4,5
150	1,8	1,8	3,4	4,5
185	2,0	2,0	3,4	4,5
240	2,2	2,2	3,6	4,5

Nastavak primjedaba uz tablice.

5. Bubnjevi su standardizirani. Podatke vidi u 283.

6. Debljina izolacije u tablici desno dolje uzeta je iz prijedloga JUS N.C5.220 iz 1962. god.

268

Podaci o kabelima za 35 kV

Kabeli tipa IPZO 13 (NHEKBA, kabeli sa tri olovna plašta) proizvodnje Fabrike kablova »Moša Pijade« Svetozarevo

Nazivni presjek mm²	Promjer kabela mm	Težina kabela kg/km	Normalna duljina m	Bubanj broj	Nazivni presjek mm²	Promjer kabela mm	Težina kabela kg/km	Normalna duljina m	Bubanj broj
3×35	70	10300	550	26	3×120	87,5	16800	350	26
3×50	75,5	12100	500	26	3×150	91	18600	300	26
3×70	79,5	13500	450	26	3×185	95	20200	300	26
3×95	83,5	15750	400	26	3×240	100,5	22900	250	26

Debljina izolacije između vodiča i olovnog plašta iznosi 8,2 mm. Vidi primjedbe uz 266.

269

Podaci o uljnim kabelima 110 i 220 kV

proizvodnje Siemens-Schuckert-Werke

a) Trožilni uljni kabeli 110 kV

sa bakrenim vodičima, armirani, s vanjskim slojem od kompaundirane jute, za mreže s kruto uzemljenom neutralnom tačkom

Nazivni presjek mm²		3×150	3×185	3×240
Debljina izolacije uključivši papir C i H	mm	9,5	9,5	9,0
Debljina olovnog plašta	mm	3,1	3,1	3,1
Težina bakra	kg/km	4275	5272	6840
Težina olova	kg/km	8761	9173	9477
Težina kabela (neto, približno)	kg/km	20100	22000	24000
Vanjski promjer, približno	mm	93	97	99
Istosmjerni otpor pri 20° C	Ω/km	0,119	0,0965	0,0744
Djelatni otpor pri 80° C	Ω/km	0,159	0,132	0,105
Induktivitet po fazi	mH/km	0,405	0,39	0,37
Prenosiva snaga P_n (polaganje u zemlju)	MVA	61	68	77
Kapacitet	µF/km	0,25	0,27	0,305
Struja nabijanja	A/km	5	5,4	6,1
Snaga nabijanja tri faze	kVA/km	950	1030	1160
Dielektrički gubici tri faze	kW/km	2,8	3,1	3,5
Gubici u vodičima, plaštu i čeličnom opletu pri prijenosu P_n	kW/km	49	51	52
Maksimalna temperatura vodiča pri prijenosu P_n (polaganje u zemlju)	°C	85	85	85

b) Jednožilni uljni kabeli 110 i 220 kV
sa bakrenim vodičima, nearmirani, s vanjskim slojem od kompaundirane jute ili pvc-mase, za mreže s kruto uzemljenom neutralnom tačkom

		Kabeli 110 kV				Kabel 220 kV
Nazivni presjek mm²		1 × 150	1 × 185	1 × 240	1 × 240	1 × 185
Debljina izolacije uključivši papir C i H	mm	9,5	9,5	9,0	11,0	20,0
Debljina olovnog plašta	mm	2,2	2,2	2,3	2,1	2,7
Vanjski sloj	—	juta	juta	juta	pvc	pvc
Debljina sloja od pvc-mase	mm	—	—	—	2,3	3,2
Težina bakra*	kg/km	1853	2195	2730	2771	2494
Težina olova	kg/km	3283	3362	3606	3430	6410
Težina kabela (neto, približno)	kg/km	7050	7500	8250	8300	13550
Vanjski promjer (približno)	mm	53	54	55	55	77
Istosmjerni otpor pri 20° C	Ω/km	0,119	0,0965	0,0744	0,0744	0,0965
Djelatni otpor pri 80° C	Ω/km	0,153	0,126	0,0987	0,0987	0,126
Induktivitet po fazi**	mH/km	0,40	0,39	0,38	0,38	0,39
Prenosiva snaga P_n	MVA	65	72	82		
Kapacitet	µF/km	0,305	0,315	0,35	0,28	0,195
Struja nabijanja	A/km	6,1	6,3	7	5,6	7,8
Snaga nabijanja tri faze	kVA/km	1160	1200	1330	1070	2970
Dielektrički gubici tri faze	kW/km	3,4	3,6	4	3,2	8,9
Gubici u vodičima i plaštu tri faze pri prijenosu P_n	kW/km	54	54	55		
Maksimalna temperatura vodiča pri prijenosu P_n	°C	85	85	85		

270

Podaci o tlačnim kabelima 110 kV u čeličnoj cijevi
proizvodnje Felten & Guilleaume Carlswerk

Nazivni presjek mm²		3 × 150 Cu	3 × 185 Cu	3 × 240 Cu
Debljina izolacije uključivši C i H papir	mm	11,0	11,0	10,5
Debljina olovnog plašta	mm	1,7	1,8	1,9
Težina kabela (neto, približno)	kg/km	21490	23750	26530
Induktivitet	mH/km	0,4	0,4	0,4
Kapacitet	µF/km	0,285	0,30	0,34
Struja nabijanja	A/km	5,7	6,0	6,8
Prenosiva snaga P_n	MVA	70	79	92
Gubici pri prijenosu P_n	kW/km	69	73	79
Unutarnji promjer tlačne cijevi	mm	113	125	125
Debljina stijenke tlačne cijevi	mm	4	4	4
Težina tlačne cijevi	kg/km	12100	13300	13300
Težina kompaundiranja tlačne cijevi	kg/km	2400	2600	2600

* Uračunata i težina bakra za mehaničko pojačanje kabela.

** Za smještaj kabela u trokutu. Ako su kabeli smješteni u horizontalnoj ravnini, srednji kabel ima oko 88% kapaciteta vanjskih kabela. Stvarno se kabeli polažu razmaknuto jedan od drugoga pa treba računati sa većim induktivitetom, oko 0,55 do 0,6 mH/km.

271 Opteretivost energetskih kabela strujom opterećenja

Prema JUS N.B2.702/1952 (»Električne instalacije u zgradama, postavljanje električnih provodnika«) i JUS N.C5.220/1962 (prijedlog) (»Energetski kablovi sa izolacijom i plaštom od pvc-mase«)

a) Kabeli nazivnog napona 1 kV sa bakrenim vodičima, temperatura okoline 20° C, pojedinačno polaganje

Nazivni presjek vodiča mm²	Jednožilni kabeli u zemlji A	Jednožilni kabeli nad zemljom A	Dvožilni kabeli u zemlji A	Dvožilni kabeli nad zemljom A	3- i 4-žilni kabeli u zemlji A	3- i 4-žilni kabeli nad zemljom A
1,5	35	28	30	24	25	20
2,5	40	40	40	32	35	28
4	65	52	50	40	45	36
6	85	68	65	52	60	48
10	110	88	90	72	80	64
16	155	125	120	92	110	88
25	200	160	155	125	135	110
35	250	200	185	150	165	130
50	310	250	235	190	200	160
70	380	305	280	225	245	195
95	460	370	335	270	295	235
120	535	430	380	305	340	270
150	610	490	435	350	390	310
185	685	550	460	390	445	355
240	800	640	570	455	515	410
300	910	730	640	510	590	470
400	1080	865	760	610	700	560

b) Trožilni kabeli visokog napona do 35 kV sa bakrenim vodičima, temperatura okoline 20° C, pojedinačno polaganje

Nazivni presjek vodiča mm²	Kabeli 6 kV u zemlji A	Kabeli 6 kV nad zemljom A	Kabeli 10 kV u zemlji A	Kabeli 10 kV nad zemljom A	Kabeli 35 kV u zemlji A	Kabeli 35 kV nad zemljom A
10	75	60	65	52		
16	100	80	85	68		
25	130	105	110	88		
35	160	130	135	110	138	110
50	195	155	165	130	162	130
70	235	190	200	160	195	156
95	280	225	240	190	230	184
120	325	260	280	225	262	210
150	370	295	320	255	300	240
185	420	335	360	290	338	270
240	490	390	420	335	390	312
300	560	445	475	385		
400	660	525	560	450		

Primjedbe uz gornje tablice vidi na narednoj strani

c) **Tri pojedinačno položena jednožilna nearmirana kabela u izmjeničnim trofaznim sistemima**

Vodiči od bakra, temperatura okoline 20⁰ C

Nazivni presjek vodiča mm²	Kabeli 1 kV		Kabeli 6 kV		Kabeli 10 kV	
	u zemlji A	nad zemljom A	u zemlji A	nad zemljom A	u zemlji A	nad zemljom A
16	140	115	130	105	110	88
25	180	145	170	135	145	115
35	220	175	210	165	175	140
50	270	215	260	205	220	175
70	325	260	310	250	265	215
95	390	310	375	300	315	255
120	445	355	430	345	360	290
150	500	400	485	390	410	330
185	550	440	535	430	460	365
240	625	500	615	490	520	415
300	695	555	680	545	570	455
400	785	630	770	620	645	515

d) **Primjedbe uz tablice a) do c)**

Tablice a) do c) vrijede za kabele sa bakrenim vodičima pojedinačno položene u zemlji ili u zraku nad zemljom, uz pretpostavku temperature okoline 20⁰ C i ovih ugrijanja vodiča kabela:

Izolacija kabela	Nazivni napon kV	Dozvoljena temperatura vodiča °C	Temperatura okoline °C	Povišenje temperature vodiča °C
papir	1 do 6	65	20	45
	10 do 20	55	20	35
	30 do 60	45	20	25
pvc-masa	1 do 6	70	20	50
	10 do 20	60	20	40

Osim toga se pretpostavlja da specifični toplinski otpor izolacije i zaštitnih slojeva kabela iznosi 500 do 650⁰ C . cm/W, a zemljišta (dubina polaganja 70 cm) 70⁰ C . cm/W.

Ako uvjeti polaganja odstupaju od gornjih pretpostavaka, treba vrijednosti u tablici pomnožiti s redukcionim faktorima navedenim u 272.

Tablice za kabele do 10 kV mogu se, prema JUS, upotrijebiti za sve vrsti kabela, dakle i za kabele s izolacijom i plaštem od pvc-mase.

JUS N.B2.702/1952 sadrži samo vrijednosti za kabele položene u zemlju, dok za kabele položene u zraku kaže da se preporučuje opteretiti ih sa svega 75% vrijednosti koje vrijede za polaganje u zemlju. Međutim, JUS N.C5.200/1962 (prijedlog) sadrži i vrijednosti za polaganje nad zemljom koje iznose (u skladu sa VDE i propisima drugih zemalja) oko 80% od vrijednosti za polaganje u zemlju.

Podaci za jednožilne kabele (tablica a) odnose se na kabele sa armaturom ili bez nje u sistemima istosmjerne struje kao i za pojedinačno položene kabele bez armature u izmjeničnim ili trofaznim sistemima.

Podaci za kabele 35 kV (tablica b) uzeti su iz kataloga Fabrike kablova »Moša Pijade«, Svetozarevo jer ih ne sadrži JUS.

272 Redukcioni faktori za određivanje opteretivosti kabela*

a) Nekoliko kabela položeno u zemlju sa razmakom oko 7 cm**

Opteretivost iz tablica 271 a) odn. b) pomnoži s ovim faktorima:

Broj kabela u rovu →	2	3	4	5	6	8	10
JUS N. B2. 702/1952[1]	0,9	0,85	0,8	0,77	0,75	0,7	
JUS N. C5. 220/prijedlog[1]	0,9	0,8	0,75	0,7	0,65	0,62	0,6

Tačnije se za ovaj slučaj može odrediti opteretivost pomoću ove tablice[2]) u kojoj je h - dubina ukapanja kabela, d - promjer kabela, a - razmak između pojedinih kabela (mjeren od osi do osi):

Broj kabela	$h/d = 10$, $a/d =$ 1	3	5	7	$h/d = 40$, $a/d =$ 1	3	5	7
2	0,81	0,86	0,88	0,92	0,80	0,83	0,85	0,87
3	0,70	0,77	0,81	0,84	0,69	0,73	0,76	0,78
4	0,64	0,72	0,78	0,82	0,61	0,67	0,71	0,74
5	0,59	0,69	0,75	0,80	0,57	0,63	0,67	0,70
6	0,55	0,66	0,73		0,53	0,59	0,64	
8	0,51	0,62	0,71		0,48	0,54	0,59	
12	0,46	0,59	0,68			0,48	0,53	

b) Nekoliko jednožilnih kabela trofaznog sistema položeno u zemlju jedan pored drugoga

Broj sistema u rovu	2	3	4
Opteretivost iz tablice 271c) pomnoži sa →	0,8	0,75	0,7

c) Nekoliko kabela postavljeno nad zemljom jedan pored drugoga

Razmak između kabela	Redukcioni faktori 3 kabela	6 kabela
Razmak između kabela jednak je promjeru kabela	0,95	0,9
Kabeli se međusobno dodiruju	0,8	0,75

d) Temperatura okoline različita od 20° C

Opteretivost određenu pomoću tablica i drugih korekturnih faktora treba pomnožiti još sa slijedećim redukcionim faktorima:

Izolacija kabela	Nazivni napon kV	Redukcioni faktori za temperaturu okoline (°C) 5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
papir	1 do 6	1,15	1,19	1,05	1,00	0,94	0,88	0,82	0,75	0,67	0,58
	10 do 20	1,20	1,13	1,07	1,00	0,93	0,85	0,76	0,65	0,54	0,38
	30 do 60	1,26	1,18	1,10	1,00	0,90	0,78	0,63	0,45	—	—
pvc-masa	1 do 6	1,14	1,09	1,05	1,00	0,95	0,89	0,84	0,77	0,71	0,63
	10 do 20	1,17	1,12	1,06	1,00	0,93	0,86	0,79	0,71	0,61	0,50

* Vidi 271 d). — ** Debljina cigle.

1) JUS N.B2.702/1952 (»Električne instalacije u zgradama, postavljanje električnih provodnika«) odnosi se na sve vrsti kabela. JUS N.C5.220/1962 (prijedlog) (»Energetski kablovi sa izolacijom i plaštom od pvc-mase«) sadrži iste vrijednosti kao VDE koji se međutim odnosi na sve vrsti kabela.

2) Tablica je izrađena na osnovu podataka firme Pirelli.

e) Kabeli položeni u tlo različitog specifičnog toplinskog otpora*

JUS (i VDE) računaju s »normalnim« specifičnim toplinskim otporom od 70 °C · cm/W. Ako je kabel položen u tlo drugog specifičnog toplinskog otpora, treba upotrijebiti redukcione faktore prema donjoj tablici. Pri tome treba uvijek računati s najnepovoljnijim dijelom trase kabela.

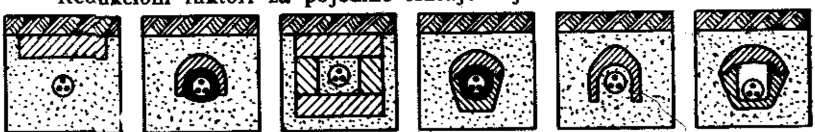
Vrst tla	Specifični toplinski otpor °C·cm/W približno	Redukcioni faktori 1 do 10 kV	Redukcioni faktori 15 do 35 kV
Šljaka, nasuta, suha	550	0,43	0,50
Pijesak posve suh	310	0,57	0,63
10% vlage	105	0,87	0,90
20% vlage	75	0,98	0,98
zasićen vlagom	55	1,07	1,05
Zemlja, pjeskovita, suha	95	0,90	0,93
80% vlage	60	1,05	1,03
glinasta ili ilovačasta	65	1,03	1,02
Zemlja vlažna ili pijesak nasut, izložen kiši	40	1,17	1,11
Kamen gust (granit, bazalt i sl.)	35	1,22	1,13
Kamen porozan (pješčenjak, meki vapnenac)	60	1,05	1,03

Pazi! Rov u koji se polaže kabel može s vremenom postati vrlo suh, naročito ako ima nekoliko kabela u rovu i ako su jako opterećeni.

Primjedba. Specifični toplinski otpor od 70 °C · cm/W prema JUS (i VDE) razmjerno je malen. Na primjer, talijanski propisi računaju sa 100 °C · cm/W (temperatura tla 25°C), a britanski standardi sa 120 °C · cm/W (temperatura tla 15° C). Prema tome opteretivost kabela prema JUS (i VDE) veća je nego prema talijanskim propisima i britanskim standardima i treba je smatrati graničnom opteretivošću.**

f) Kabeli položeni u rov uz različitu zaštitu*

Redukcioni faktori za pojedine slučajeve jesu:



Nabiti pijesak, kabel zaštićen opekom	Kabel zaštićen pokrovom unutar kojega je glina	Kabel zaštićen opekom sa svih strana, oko kabela pijesak	Kabel u pokrivenom koritu unutar kojega je glina	Kabel zaštićen pokrovom unutar kojega je pijesak	Kabel u pokrivenom koritu unutar kojega je zrak
1,00	0,93	0,91	0,89	0,84	0,82

g) Kabeli položeni u vodu

Redukcioni faktor iznosi 1,15, tj. opteretivost u tablicama za pojedinačno polaganje u zemlju treba množiti sa 1,15, ali uz uvjet da se na prijelazu iz vode u zemlju ili zrak presjek kabela poveća.

* Prema Siemens, Kabel und Leitungen für Starkstrom.

** U stvari tako niski spec. toplinski otpor (70 °C · cm/W) prema JUS (i VDE) može se opravdati jedino tako da on već uzima u obzir razmjerno povoljan dijagram opterećenja.

h) Kabeli izloženi suncu

Prema podacima firme Pirelli temperatura armiranih olovnih kabela izloženih sunčanim zrakama povisuje se zbog toga (uz pretpostavku razmjerno nepovoljnih okolnosti) za ove vrijednosti :

Vanjski promjer kabela mm	20	30	40	50	60	70	80
Povišenje temperature °C $\Delta\theta = \theta_2 - \theta_1$	14	17	19	21	24	26	27,5

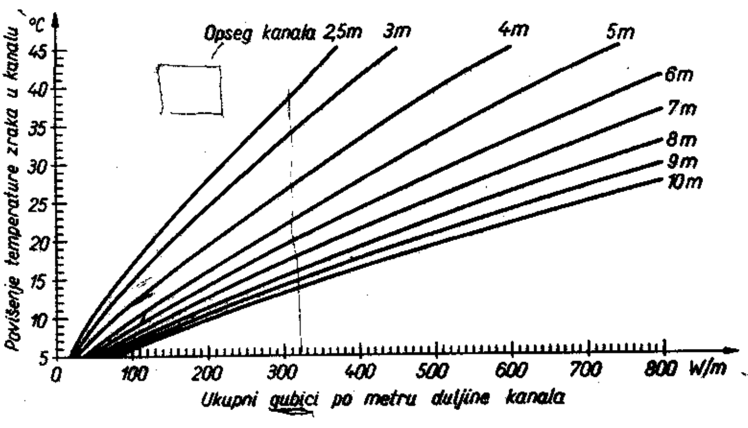
To povišenje temperature treba dodati temperaturi okoline (npr. 30° C) pa se dobije temperatura neopterećenog kabela za koju se tada mogu uzeti redukcioni faktori prema tablici 272 d) s kojima treba pomnožiti vrijednosti iz tablica 271 za polaganje nad zemljom.

i) Kabeli položeni u cijevi ili kanale

Prema JUS N.B2.702/1952 vrijednosti u tablicama 271 za polaganje u z e m l j u treba pomnožiti s ovim redukcionim faktorima

Broj kabela u cijevi ili kanalu	1 ili 2	3 ili 4	5 ili 6	7 ili 8	9 ili10
Redukcioni faktor	0,7	0,65	0,6	0,55	0,5

Mnogo tačnije se opteretivost kabela u kanalu može izračunati tako da se pomoću dijagrama* niže odredi približno povišenje temperature u kanalu te onda pomoću tablica 271 a) do c) za polaganje nad zemljom i pomoću redukcionih faktora pod 272 d) izračuna opteretivost kabela.



Ugrijanje zraka u kanalu to je veće što je manji opseg kanala (tj. zbroj svih stranica presjeka).

Gubici trofaznih kabela mogu se uzeti iz dijagrama 276. U račun treba uzeti zbroj gubitaka svih kabela u kanalu uzimajući pri tome u obzir istodobnost opterećenja.

Ako bi povišenje temperature u kanalu bilo preveliko pa bi prema tome potrebni presjeci kabela bili neekonomični, potrebno je da se kanal umjetno prozračuje.

* Prema Siemens, Kabel und Leitungen für Starkstrom.

273 a

Opteretivost uljnih i tlačnih kabela sa bakrenim vodičima*

Za pojedinačno polaganje kabela u zemlju, temperaturu okoline 20° C te zagrijavanje vodiča za 50° C (najviša temperatura vodiča 70° C):

Trožilni uljni i tlačni kabeli			Jednožilni uljni kabeli		
Nazivni presjek mm²	Kabeli 30 kV A	Kabeli 110 kV A	Nazivni presjek mm²	Kabeli 110 kV A	Kabeli 220 kV A
3× 70	265				
3× 95	320	280	1× 95	360	
3×120	360	330	1×120	395	
3×150	405	365	1×150	440	390
3×185	460	415	1×185	500	430
3×240	530	480	1×240	560	480
3×300	590	540	1×300	615	530
3×400	670	620	1×400	680	580

273 b

Prenosna sposobnost uljnih kabela

položenih u zemlju uz upotrebu jednog trofaznog sistema

Napon prijenosa	30	60	110	220	kV
Prenosna sposobnost	10 do 35	30 do 75	55 do 130	150 do 250	MVA

274

Opteretivost signalnih kabela

Opteretivost signalnih kabela dobije se tako da se opteretivost dvožilnih kabela prema tablici 271a) pomnoži s redukcionim faktorima prema ovoj tablici:

Broj žila u kabelu	5	7	10	12	14	16	19	21	24
Redukcioni faktor	0,72	0,63	0,55	0,51	0,49	0,47	0,44	0,42	0,40

275

Djelatni otpor kabela

Otpor kabela može se izračunati kao zbroj otpora za istosmjernu struju i dodatnog otpora koji predstavlja prividno povišenje djelatnog otpora vodiča zbog dodatnih gubitaka prouzrokovanih izmjen. strujom u trof. sistemu.

a) Dodatni otpor ΔR u trofaznim kabelima za 50 Hz (sa bakrenim vodičima)

Nazivni presjek vodiča mm²	ΔR u Ω/km za kabele			Nazivni presjek vodiča mm²	ΔR u Ω/km za kabele		
	IPO 13 (NKBA)	PP 45 (NYFGbY)	PP 00 NYY		IPO 13 (NKBA)	PP 45 (NYFGbY)	PP 00 (NYY)
do 16	∼0	∼0	∼0	185	0,0125	0,01	0,0012
25 do 50	0,01	0,008	∼0	240	0,0128	0,01	0,0015
70 i 95	0,011	0,009	∼0	300	0,0130	0,01	0,0018
120	0,012	0,0095	0,0008	400	0,0135	0,01	0,0023
150	0,012	0,0095	0,001				

Dodatni otpor naveden za IPO 13 (NKBA) vrijedi i za druge papirom izolirane armirane kabele s jednim olovnim plaštem, za PP 00 (NYY) vrijedi i za PP 40 (NYCY).

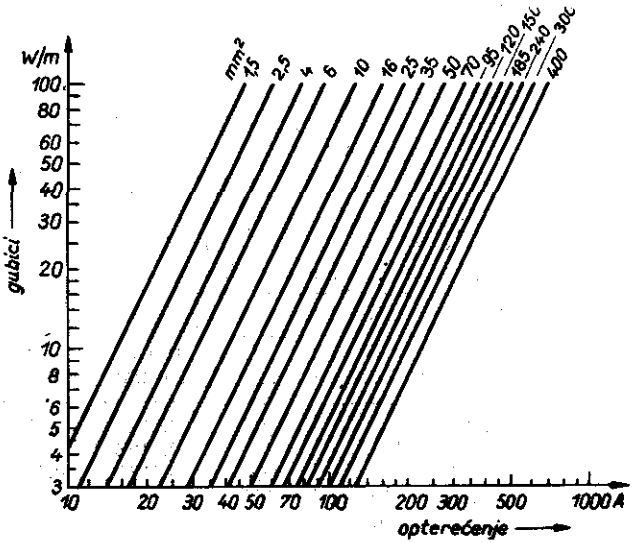
* Prema podacima firme Felten & Guilleaume, Köln—Mühlheim.

b) Istosmjerni otpor vodiča kabela sa bakrenim vodičima

Nazivni presjek mm²	Istosmjerni otpor Ω/km za temperaturu vodiča					
	20° C	30° C	40° C	50° C	60° C	70° C
1,5	11,9	12,36	12,81	13,26	13,72	14,17
2,5	7,4	7,41	7,69	7,96	8,23	8,50
4	4,46	4,63	4,80	4,97	5,14	5,31
6	2,98	3,09	3,20	3,32	3,43	3,54
10	1,786	1,85	1,92	1,99	2,06	2,13
16	1,116	1,159	1,201	1,244	1,286	1,329
25	0,714	0,741	0,769	0,796	0,823	0,85
35	0,510	0,53	0,549	0,568	0,588	0,607
50	0,357	0,371	0,384	0,398	0,412	0,425
70	0,255	0,265	0,275	0,284	0,294	0,304
95	0,188	0,195	0,202	0,209	0,217	0,223
120	0,149	0,154	0,160	0,166	0,171	0,177
150	0,119	0,124	0,128	0,133	0,137	0,142
185	0,0965	0,100	0,104	0,108	0,111	0,115
240	0,0744	0,0772	0,080	0,0829	0,0857	0,0886
300	0,0595	0,0618	0,0641	0,0663	0,0686	0,0708
400	0,0446	0,0463	0,0480	0,0497	0,0514	0,0531

276 **Gubici u trofaznim kabelima**

sa 3 bakrena vodiča, za napon do 10 kV, simetrično opterećenim, pri 65° C



Ako je opterećenje manje od najviše dozvoljenog, gubici su nešto manji jer je tada temperatura nešto niža pa je otpor manji. Za kabele 35 kV vrijednosti iz dijagrama pomnoži sa 0,94.

Istosmjerni otpor vodiča kabela s aluminijskim vodičima **277**

Nazivni presjek mm²	Otpor Ω/km pri 20° C	Otpor Ω/km pri 60° C	Nazivni presjek mm²	Otpor Ω/km pri 20° C	Otpor Ω/km pri 60° C	Nazivni presjek mm²	Otpor Ω/km pri 20° C	Otpor Ω/km pri 60° C
2,5	12,12	13,88	25	1,21	1,39	120	0,253	0,289
4	7,58	8,68	35	0,866	0,992	150	0,202	0,231
6	5,05	5,78	50	0,606	0,694	185	0,164	0,188
10	3,03	3,47	70	0,433	0,496	240	0,126	0,145
16	1,89	2,17	95	0,319	0,365	300	0,101	0,116

Faktor gubitaka kabela **278 a**

Preporuke IEC za faktor gubitaka, tj. za tangens kuta gubitaka (tg δ) za kabele s papirnom izolacijom vidi u 282a.

Prema sovjetskim propisima ne smiju se za kabele s papirnom izolacijom prijeći ove vrijednosti (pri 20° C):

	tg δ	Δ tg δ
Za trožilne kabele 6 kV	0,025	0,01
Za jednožilne kabele 6 kV	0,025	0,008
Za trožilne kabele 10 kV	0,020	0,008
Za jednožilne kabele 10 kV	0,020	0,005
Za kabele 35 kV s 3 olovna plašta	0,015	0,003

U gornjem pregledu tg δ vrijedi za ispitni napon, a Δtgδ je povišenje tangensa pri promjeni napona od 30% nazivnog napona (ali ne manje od 4 kV) do nazivnog napona (tj. od $0{,}3U_n$ do U_n).

Grubo se može uzeti da se tgδ papirnih kabela kreće između 0,003 i 0,004, ali jako raste iznad temperature 65° C. tgδ termoplastičnih kabela znatno je veći pa se oni stoga ne upotrebljavaju iznad 10 kV. tgδ uljnih i tlačnih kabela obično ne prelazi 0,003 sve do temperature od 80 do 85° C.

Dielektrički gubici kabela **278 b**

Dielektrički gubici za sve tri faze trožilnog kabela ili za tri jednožilna kabela trofaznog sistema izračunaju se po formuli:

$$P_g = U^2 \omega C_{po} \operatorname{tg} \delta \cdot l$$

U — linijski napon, ω — kružna frekvencija (= 314 za f = 50 Hz), C_{po} — pogonski kapacitet po km kabela, l — duljina kabela.

Dielektr. gubici kabela do 10 kV beznačajni su. Za kabele 30 kV iznose oko 0,6 kW/km, za kabele 35 kV oko 0,8 kW/km, za kabele 110 i 220 kV vidi u 269.

Induktivni otpor trofaznih kabela **279**

Srednje vrijednosti u Ω/km i fazi, kod 50 Hz

Naziv. presj. mm²	Kabeli s pojasnom izolacijom i H kabeli za napon 1 kV	3 kV	6 kV	10 kV	15 kV	20 kV	30 i 35 kV	Kabeli s 3 olovna plašta za napon 20 kV	30 i 35 kV
10	0,094	0,111	0,134	0,143					
16	0,089	0,105	0,123	0,132	0,153				
25	0,086	0,098	0,116	0,123	0,141	0,148			
35	0,083	0,095	0,110	0,117	0,134	0,142	0,153	0,153	0,167
50	0,081	0,092	0,105	0,112	0,127	0,134	0,145	0,145	0,157
70	0,077	0,086	0,097	0,102	0,115	0,122	0,131	0,131	0,142
95	0,076	0,084	0,093	0,098	0,110	0,117	0,126	0,126	0,136
120	0,075	0,082	0,090	0,096	0,107	0,113	0,121	0,121	0,131
150	0,075	0,080	0,088	0,093	0,103	0,109	0,118	0,118	0,127
185	0,074	0,079	0,086	0,090	0,100	0,106	0,114	0,114	0,123
240	0,074	0,078	0,085	0,088	0,097	0,102	0,110	0,110	0,118
300	0,073	0,077	0,083	0,087	0,094	0,099	0,106	0,106	0,115

* S pojasnom izolacijom.

289 Kapacitet, struja nabijanja i struja zemljospoja kabela

1. Pogonski kapacitet trožilnih kabela s pojasnom izolacijom

$$C = C_{10} + 3C_{12}$$

gdje je C_{10} — parcijalni kapacitet vodič/metalni plašt, C_{12} — parcijalni kapaciteti vodič/vodič. Ovi se kapaciteti dobiju iz mjerenja kapaciteta C' (kapacitet jednog vodiča prema svim ostalim vodičima i metalnom plaštu) i C''' (kapacitet svih međusobno spojenih vodiča prema metalnom plaštu) pomoću formula:

$$C_{10} = \frac{1}{3} C''' \qquad C_{12} = \frac{1}{6}(3C' - C''') = \frac{1}{2}(C' - C_{10})$$

2. Pogonski kapacitet kabela s radijalnim poljem (kabeli s tri olovna plašta, H-kabeli, jednožilni kabeli) jednak je kapacitetu pojedinog vodiča prema plaštu.

3. Brojčane vrijednosti pogonskog kapaciteta, struje nabijanja i struje zemljospoja trožilnih kabela

Nazivni presjek	IPO 13 (NKBA) i sl. 1 kV			IPO13(NKBA) i sl. 10 kV			IPZO13 (NHEKBA) 30 kV		
	C'	C'''	C	C	I_c	I_z	C	I_c	I_z
mm²	μF/km	μF/km	μF/km	μF/km	A/km	A/km	μF/km	A/km	A/km
3× 10	0,30	0,57	0,355	0,165	0,30	0,63			
3× 16	0,33	0,62	0,39	0,20	0,36	0,69			
3× 25	0,46	0,81	0,56	0,26	0,47	0,85			
3× 35	0,52	0,93	0,63	0,29	0,53	0,94	0,21	1,14	3,42
3× 50	0,68	1,20	0,82	0,35	0,64	1,10	0,24	1,31	3,93
3× 70	0,75	1,28	0,91	0,38	0,70	1,21	0,265	1,45	4,35
3× 95	0,85	1,42	1,04	0,43	0,78	1,36	0,295	1,60	4,80
3×120	0,92	1,58	1,12	0,46	0,83	1,41	0,32	1,74	5,22
3×150	0,96	1,69	1,16	0,54	0,98	1,69	0,345	1,88	5,65
3×185	1,00	1,73	1,21	0,56	1,01	1,76	0,37	2,02	6,05
3×240	1,03	1,80	1,24	0,67	1,21	2,06	0,41	2,23	6,70
3×300	1,08	1,97	1,29	0,69	1,25	2,13	0,45	2,45	7,35

C', C''' i C vidi pod 1, I_c — struja nabijanja, I_z — struja zemljospoja.

Stvarne vrijednosti kapaciteta mogu znatno odstupati od vrijednosti navedenih u tablici, naročito za kabele 1 kV.

4. Izračunavanje pogonskog kapaciteta: vidi u 36/3.4.

5. Struja nabijanja

$$I_c = 0{,}181\ UCl \qquad [\text{A, kV, μF/km, km}]$$

U — linijski napon, C — pogonski kapacitet, l — duljina kabela.

6. Struja zemljospoja

Za kabele s pojasnom izolacijom, npr. IPO 13 (NKBA):

$$I_z = 0{,}326\ UCl \qquad [\text{A, kV, μF/km, km}]$$

Za kabele s radijalnim poljem, npr. IPZO 13 (NHEKBA):

$$I_z = 0{,}544\ UCl \qquad [\text{A, kV, μF/km, km}]$$

281

1. Polaganje kabela u zemlju

Najmanja dubina ukapanja kabela (prema JUS N.B2.702/1952): 80 cm. Mnoge strane zemlje dopuštaju 70 cm, pa i prijedlog JUS N.C5.220 (»Energetski kablovi sa izolacijom i plaštom od pvc-mase«). Za kabele visokog napona preporučuje se dubina ukapanja 100 do 120 cm. Preporučuje se da se dubina ukapanja poveća ispod ulica i cesta sa jakim prometom.

Kad se kabel polaže u zemlju, neka se položi na posteljicu od pijeska debljine barem 10 cm i pokrije slojem pijeska od barem 10 cm. Na to se radi mehaničke zaštite položi cigla popreko položena (oko 8 cigala po metru trase) ili posebni kabelski pokrov. Razne načine zaštite vidi u 272 f.

Širina kabelskog kanala za jedan kabel: 40 do 50 cm. Međusobni razmak paralelnih kabela treba da iznosi barem:

Energetski kabeli do 1 kV međusobno	7 cm
Energetski kabeli 3 i 6 kV kraj drugih energetskih kabela	10 cm
Energetski kabeli 10 kV kraj drugih energetskih kabela	15 cm
Energetski kabeli 35 kV kraj drugih energetskih kabela	20 cm
Energetski kabeli do 1 kV kraj telefonskih kabela	30 cm
Energetski kabeli 10 kV kraj telefonskih kabela	50 cm*
Energetski kabeli iznad 10 kV kraj telefonskih kabela	100 cm*
Signalni kabeli kraj telefonskih kabela	5 cm
Signalni kabeli kraj signalnih kabela	0 cm
Telefonski kabeli kraj telefonskih kabela	0 cm

Ako je razmak između energetskih kabela manji od 20 cm, treba radi zaštite između kabela staviti opeku, crijep, keramičke ploče ili slično.

Za kabele elektroveza zanemaruje se utjecaj električnog polja električnih vodova.

Za križanja se preporučuju razmaci kao i za paralelno vođenje, ali oni mogu biti i manji.

Jugosl. tehnički propisi (vidi fusnotu) propisuju da je minimalni razmak na križanju kabela elektroveza s energetskim kabelima do 250 V prema zemlji 30 cm, s kabelima višeg napona 50 cm. Ako se taj razmak ne može održati, tada kabel elektroveza treba staviti u betonsku ili sličnu cijev, a energetski kabel u metalnu cijev. Duljina cijevi 2 do 3 m. Razmak na križanju ipak ne manji od 30 cm. Kut križanja treba po pravilu da bude što bliže 90^0, ali barem 45^0, izuzetno (po međusobnom sporazumu) barem 30^0.

Na križanju sa željezničkom prugom kabel treba položiti barem 1 m ispod gornjeg ruba željezničkih šinja (odredba iz »Tehničkih propisa za građenje električnih vodova na mjestima ukrštanja sa željezničkim prugama«, Služb. list FNRJ br. 44/49).

2. Polaganje kabela izvan zemlje

Razmak između pojedinih kabela neka je barem jednak promjeru kabela.

Ako je kabel pričvršćen obujmicama, treba da razmak obujmice iznosi: a) kad je kabel horizontalno položen najviše 80 cm, ali ne više od 20 × vanjski promjer za nearmirane kabele, odnosno 30 do 35 × vanjski promjer za armirane kabele; b) kad je kabel vertikalno položen: obično oko 2 m, izuzetno do 3 m.

---

* Prema »Tehničkim propisima o zaštiti vodova elektroveza od električnih vodova«, Služb. list 34/51. Ako se navedeni razmaci ne mogu postići, onda energetske kabele treba položiti u metalne cijevi, a telefonske kabele u betonske ili slične cijevi. Metalni ovoj energetskih kabela iznad 250 V prema zemlji mora biti uzemljen bar na svakoj spojnici, a kabela iznad 10 kV u razmaku ne većem od 200 m. U posljednjem slučaju uzemljenje mora biti barem 2 m udaljeno od kabela elektroveza.

3. Najmanji dozvoljeni polumjer zakrivljenosti

JUS N.B2.702/1952 (»Električne instalacije u zgradama, postavljanje električnih provodnika«) propisuje najmanji polumjer zakrivljenosti 15*D* (*D*-vanjski promjer kabela).

Prema podacima iz literature mogu se preporučiti ovi najmanji polumjeri zakrivljenosti:

Vrst kabela	Nazivni napon	Najmanji dozvoljeni polumjer zakrivljenosti: pri polaganju, nearmiranog	pri polaganju, armiranog	montiranog: nearmiranog	montiranog: armiranog
Papirni kabeli jednožilni	1 kV	22 *d*	18 *D*	12 *d*	10 *D*
	10 kV	25 *d*	20 *D*	15 *d*	12 *D*
	35 kV	30 *d*	25 *D*	18 *d*	15 *D*
Papirni kabeli višežilni	1 kV	18 *d*	15 *D*	10 *d*	8 *D*
	10 kV	20 *d*	18 *D*	12 *d*	10 *D*
	35 kV	25 *d*	20 *D*	15 *d*	12 *D*
Termoplastični kabeli jednožilni	1 kV	18 *d*	15 *D*	12 *d*	10 *D*
	10 kV	20 *d*	18 *D*	15 *d*	12 *D*
Termoplastični kabeli višežilni	1 kV	15 *d*	12 *D*	10 *d*	8 *D*
	10 kV	18 *d*	15 *D*	12 *d*	10 *D*
Uljni kabeli jednožilni	110 kV	25 *D*		20 *D*	
	220 kV	35 *D*		30 *D*	
Uljni kabeli višežilni	110 kV	15 *D*		12 *D*	
	220 kV	25 *D*		20 *D*	

d - promjer iznad olovnog plašta nearmiranih kabela, *D* - vanjski promjer kabela.

Polumjer zakrivljenosti gotovo montiranog kabela može biti manji nego za vrijeme polaganja kabela kad se kabel nekoliko puta savija.

4. Polaganje i savijanje pri niskoj temperaturi

Najniža temperatura pri kojoj se kabeli smiju savijati, tj. odmatati s bubnja i polagati, jest:

Za nearmirane papirne kabele	0° C
Za armirane papirne kabele	+ 5° C
Za nearmirane ili armirane kabele s izolacijom od pvc-mase .	+ 5° C
Za nearmirane gumene kabele	—20° C*
Za armirane gumene kabele	— 7° C*
Za nearmirane uljne kabele	0° C
Za armirane uljne kabele	+ 5° C

Pri temperaturama nižim od gornjih kabeli se prije polaganja ili prematanja griju strujom ili tako da se smjeste u toplu prostoriju.

Najviša dopuštena struja grijanja po žili iznosi:

S	10	16	25	35	50	70	95	120	150	185	240	mm²
I	76	102	130	160	190	230	285	330	375	425	490	A

Ako se kabeli zagrijavaju u toploj prostoriji, zadržavanje kabela u prostoriji treba da iznosi barem:

— ako je temperatura prostorije 5 do 10° C: 3 dana
— „ „ „ „ 10 do 25° C: 1 do 1,5 dana
— „ „ „ „ 25 do 40° C: 18 sati

Nakon zagrijavanja kabel treba položiti u najkraćem roku (30 do 45 minuta).

* Nearmirani kabeli s izolacijom od butilne gume mogu se polagati i pri nižoj temperaturi, u stvari pri svakoj temperaturi koja se u nas pojavljuje. Najniža temperatura polaganja armiranih gumenih kabela ovisi o materijalima upotrebljenim za armiranje.

Ispitivanje papirnih kabela 10 do 66 kV prema IEC*

a) Individualna ispitivanja

1. P r o v j e r a v a n j e o t p o r a. Otpor za istosmjernu struju smije pri 20⁰C iznositi najviše:

— za kabele s jednom žilom Cu: 1,02 · 17,24 l/S oma
— za kabele sa 2 ili više žila Cu: 1,04 · 17,24 l/S oma
— za kabele s jednom žilom Al: 1,03 · 28,45 l/S oma
— za kabele sa 2 ili više žila Al: 1,6 · 28,45 l/S oma

l - duljina kabela u km. S - presjek jedne žile kabela u mm².

Mjereni otpor treba svesti na 20⁰ C pomoću koeficijenta 0,00393 za Cu odn. 0,00403 za Al.

2. I s p i t i v a n j e i z o l a c i j e u t v o r n i c i. (U - nazivni linijski napon, U_0 - nazivni fazni napon kabela).

Za kabele s radijalnim poljem (IPZO 13, IPZO 14, IPZO 23 odn. NHKBA, NEKBA, NHEKBA, NHEKBY, NHEKRA i sl.) svaka žila prema metalnom sloju sa $2{,}5U_0$ za vrijeme 15 min.

Za kabele s neradijalnim poljem (IPO 13 odn. NKBA i sl.). Ispitivanje u trofaznom spoju (nul-tačka spojena s metalnim plaštem) sa $2{,}5U$ za vrijeme 15 minuta i eventualno dodatno ispitivanje između zajedno spojenih vodiča i plašta sa 2,5 × specificirani napon za vrijeme 10 min[1]) — Ispitivanje u jednofaznom spoju naponom koji je uvijek 2,5 puta veći od pripadnog nazivnog napona, po 10 min za svaki vodič.

Prema sporazumu kupca i proizvođača ispitivanje se može provesti i istosmjernim naponom koji je 6 puta veći od izmjeničnog nazivnog napona na kojem se osniva izmjenično ispitivanje. Trajanje ispitivanja po 5 min.

3. M j e r e n j e d i e l e k t r i č k i h g u b i t a k a (samo za narudžbe iznad 1 km).

Faktor gubitaka (odn. tg δ) ne smije biti veći od 0,008 pri 20⁰ C i napona $0{,}5U$ (U - nazivni napon). Za napon $0{,}5U$ do $1{,}25U$ faktor gubitaka ne smije porasti više nego 0,001 za kabele s radijalnim poljem, odn. 0,003 za kabele s neradijalnim poljem, a za napon $1{,}25U$ do $2U$ ne više nego 0,003 za kabele s radijalnim poljem, odn. 0,006 za kabele s neradijalnim poljem.

4. I s p i t i v a n j e i z o l a c i j e k a b e l a n a k o n p o l a g a n j a.

Ispituje se izmjeničnim naponom = 1,73 × pripadni nazivni napon[2]) ili istosmjernim naponom = 4 × pripadni nazivni napon[2]). Trajanje ispitivanja 15 min za jednožilne kabele i trofazne kabele ispitivane u trofaznom spoju, odn. 10 min za svaki vodič za trofazne kabele ispitivane jednofazno.

b) Ispitivanje uzoraka (pobliže vidi u publikaciji IEC)

Mehaničko ispitivanje navijanjem kabela na bubanj propisanih mjera i odvijanjem s njega te naponskom probom poslije toga.

Ispitivanje izolacije izmjeničnim, udarnim i istosmjernim naponom.

c) Tipsko ispitivanje

Provjeravanje da li je faktor gubitaka i pri višim temperaturama unutar određenih granica.

---

* »Preporuke za ispitivanja kabela s papirnom izolacijom i metalnim plaštem za napone 10 do 66 kV«, publikacija br. 55/1957.

1) Ovo se dodatno ispitivanje provodi samo ako se između vodiča i metalnog plašta traži jača izolacija nego što odgovara faznom naponu. To se traži u onim mrežama koje i u zemljospoju ostaju izvjesno vrijeme u pogonu.

2) Za ispitivanje trofaznih kabela u trofaznom spoju to je linijski napon; za ispitivanje pojedinih vodiča jednof. ili istosmj. naponom to je fazni napon.

282 b Ispitivanje izolacije kabela prema VDE 0255/4.60 i 0472/11.54

a) Ispitivanje kod preuzimanja odn. dobave kabela

1. Ispitni napon. Svaki kabel treba prije dobave ispitati izmjeničnim naponom $(2{,}5\,U_0 + 2{,}5)$ kV ili istosmjernim naponom $3\,(2{,}5\,U_0 + 2{,}5)$ kV ili u trofaznom spoju naponom $(1{,}5\,U + 2{,}5)$ kV.

2. Spoj i trajanje ispitivanja

Jednožilni kabeli: Vodič prema olovnom plaštu: 20 min.

H - kabeli i kabeli s nekoliko plašteva, npr. kabeli s tri olovna plašta: Vodiči 1 + 2 + 3 prema olovnim plaštevima: 20 min.

Dvožilni pojasni kabeli: a) Vodič 1 prema vodiču 2 + olovnom plaštu 10 min, b) vodič 2 prema vodiču 1 + olovnom plaštu 10 min, ukupno 20 min.

Trožilni pojasni kabeli: a) Vodič 1 prema 2 + 3 + olovnom plaštu 10 min, b) vodič 2 prema 3 + 1 + olovnom plaštu 10 min, c) vodič 3 prema 1 + 2 + olovnom plaštu 10 min, ukupno 30 min. Ili: a) Vodič 1 prema 2 i prema 3 : 20 min, b) vodiči 1+2+3 prema olov. plaštu: 10 min., ukupno 30 min.

Četvorožilni pojasni kabeli: a) Vodič 1 prema 2 + 3 + 4 + olovni plašt: 10 min, i to tako redom cikličkim zamjenama, ukupno 40 min.

3. Ispitne žice u kabelu ispituju se 20 min izmjeničnim naponom 1,25 kV ili istosmjernim naponom 4 kV prema vodičima i olovnom plaštu.

Za detaljno ispitivanje kabela (koje je obavezno samo ako je posebno utanačeno između prodavaoca i kupca) VDE 0255/4.60 daje podatke za ispitivanje savitljivosti kabela, probojne čvrstoće, faktora gubitaka i gorivosti zaštitnih ovoja. Ispituje se prema VDE 0472/11.54*.

b) Ispitivanje kabelskih postrojenja

1. Ispitivanje izmjeničnim naponom trofaznih sistema: Po jedan fazni vodič uzemljen, ostala dva se ispituju naponom $1{,}15\,U$ (odn. $2\,U_0$) po 15 min, i tako redom ciklički, da svaka žila bude pod naponom 30 min.

2. Ispitivanje istosmjernim naponom: Ispituje se trostrukim[1]) naponom navedenim pod b - 1), i to svaka žila 60 min. Kod pojasnih kabela ispituje se svaka žila posebno, dok su ostali vodiči uzemljeni, a kod jednožilnih kabela, H - kabela i kod kabela s više olovnih plašteva mogu se ispitivati istodobno sve žile u paralelnom spoju.

282 c Ispitivanje uljnih kabela[2])

a) Individualna ispitivanja

1. Provjeravanje otpora. Specifični otpor vodiča od bakra pri 20° C ne smije biti veći od 0,01724 om · mm²/m + 4% za presjeke do 1000 mm², odn. + 5% za veće presjeke. Mjereni otpor treba svesti na 20° C pomoću topl. koeficijenta 0,00393 1/°C.

2. Provjeravanje kapaciteta. Izmjereni kapacitet ne smije biti za više od 8% veći od garantirane vrijednosti. Ako se radi o normalnoj ili već poznatoj vrsti kabela, kupac može tražiti i manju toleranciju.

3. Provjeravanje faktora gubitaka. Faktor gubitaka (odn. $\operatorname{tg}\delta$) ne smije biti veći od 0,005 uz napon od $0{,}5\,U_0$. Nadalje povećanje faktora gubitaka između $0{,}5U_0$ i $2U_0$ ne smije biti veće od 0,0003 za svaku razliku napona od $0{,}5U_0$, a ukupni porast između $0{,}5U_0$ i $2U_0$ ne smije biti veći od 0,0008. Ako je pogonski kapacitet kabela različit od 0,2 μF/km tada vrijednosti 0,0003 i 0,0008 treba pomnožiti s omjerom: kapacitet u μ F/km : 0,2.

4. Ispitivanje povišenim naponom. Za vrijeme od 15 min narine se između vodiča i plašta izmjenični napon $1{,}73U_0 + 10$ (U_0 - nazivni fazni napon kabela). Umjesto toga može se za vrijeme od 5 min narinuti između vodiča i plašta istosmjerni napon $5U_0$.

---

* »Pravila za provedbu ispitivanja izoliranih vodova i kabela«.

[1]) Taj napon ipak ne smije biti veći od 90% tjemene vrijednosti ispitnog napona kabelskih zaglavaka.

[2]) Prema nacrtu preporuka IEC.

b) Ispitivanje uzoraka

Vrši se samo ako ugovor obuhvata više od 2 km kabela ili ako je takvo ispitivanje ugovoreno između proizvođača i kupca.

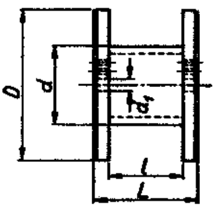
Ovo ispitivanje obuhvata: *1. Provjeravanja faktora snage u toplom.* Pri temperaturi 5° C višoj od najviše dozvoljene pogonske temperature ne smiju se prijeći vrijednosti navedene u a-3. — *2. Dielektričko sigurnosno ispitivanje:* Napon od 2,5U_0 narinut za vrijeme od 24 sata između vodiča i plašta uzorka od 15 m ne smije probiti izolaciju. — *3. Mehaničko ispitivanje:* Uzorak kabela savije se oko bubnja propisanog promjera 3 puta naizmjence u jednom i u drugom smjeru i nakon toga ispituje povišenim naponom.

c) Tipsko ispitivanje

Nakon savijanja prema b-3 kabel se ugrije na najvišu pogonsku temperaturu i nakon toga ispituje udarnim naponom.

d) Ispitivanje nakon polaganja

Obuhvata: 1. Provjeravanje proticanja ulja. — 2. Provjeravanje koeficijenta impregnacije. — 3. Naponsko ispitivanje: Ne smije dovesti do proboja istosmjerni napon 4U_0 narinut za vrijeme 15 min između vodiča i plašta ili (ako je tako ugovoreno između proizvođača i kupca) izmjenični napon 1,73U_0 narinut za jednako vrijeme.



Bubnjevi za kabele i metalnu užad

prema JUS N.C0.505/1958

P r i m j e d b e : 1. Bubnjevi (doboši) izrađuju se od jelovine, smrekovine (smrča) i drugih mekih drveta ili od čelika.

2. Standard ne sadrži težine bubnjeva. Težine navedene u tablici dobivene su od Fabrike kablova »Moša Pijade« Svetozarevo, a obuhvataju cjelokupnu težinu bubnja uključivši oplatu.

Nazivna veličina	D mm	d mm	d_1 mm	L^*_{maks} mm	l mm	Težina ≈ kg
4	400	200	50	350	200	15
5	500	250	50	400	250	25
6	600	300	50	450	300	30
7	700	350	50	500	350	35
8	800	400	80	550	400	50
9	900	450	80	650	450	75
10	1000	500	80	700	500	100
12	1200	600	80	800	600	170
14	1400	700	80	950	700	230
16	1600	800	80	1050	800	295
18	1800	1000	100	1150	900	485
20	2000	1200	100	1250	1000	640
22	2200	1400	100	1350	1100	815
24	2400	1500	100	1450	1200	1095
26	2600	1600	120	1550	1300	1195
28	2800	1800	120	1700	1400	
30	3000	1800	150	1850	1500	1870
30š	3000	1800	150	2200	1700	
31	3100	1800	150	1900	1550	
31š	3100	1800	150	2300	1850	2720

* To je najveća mjera i obuhvaća sve dijelove (svornjake, matice) koji strše izvan vanjske površine stranica.

284 Usporedba oznaka izoliranih vodova

Opis u tački[1])	Oznaka JUS N.C0.006		Oznaka JELKO[2])	Oznaka VDE		
	nova iz VIII 1961.	stara iz 1955.		0250/11.60[3])	0283/11.60[4])	stariji propisi[5])
a) Vodovi za stalno polaganje za niski napon						
1	G	G	NG	NGA		
2	G/M	G/M	NGm	NGAB		
3	G/F	G/F	NGf	NGAF		
4	G/N	G/N		NGAU		
5	GN/A	GN/A			NGW	
6	GN/AJ	GN/AJ			NFGW	
7	G/A	G/A	AtG			NGAW
8	G/AJ	G/AJ				NFGAW
9	P	P		NYA		
10	P/M	P/M		NYAB		
11	P/F	P/F		NYAF		
12	P/J	P/J		NSYA		
13	P/MJ	P/MJ		NSYAB		
14	P/FJ	P/FJ		NSYAF		
15	PP/A	PP/A			NYW	
16	PP/AJ	PP/AJ			NFYW	
17	PP/R	PP/R		NYIFY		
18	PG/R	PG/R		NYIF		
19	PP	PGP		NYM		
20	PP/U	PP/U				
21	PP/Z			NHYM		
22	G/Z	GŽ	ZGŽO			NPA
23	GMT	GM	MGO	NRAM		
24	GAT	GM	MGA	NRAMA		
25	GCT	GM		NRAMZ		
26	PMT	PM		NYRAM		
27	PAT	PM		NYRAMA		
28	PCT	PM		NYRAMZ		
29	GMT 04			NRUY		
30	GAT 04			NRUAY		
31	GCT 04			NRUZY		
32	PMT 04			NYRUY		
33	PAT 04			NYRUAY		
34	GO 02	GOT	OG			NBU
35	GO 04	GOP		NBUY		
36	GO 12	GOČ	OGŽ			NBEU
37	GO 14					NBEUY
38	PO 02	POT				NYBU
39	PO 04	POP		NYBUY		
40	PO 12	POČ				NYBEU
41	PO 14					NYBEUY

1) Vidi 286, str. 444. i dalje.
2) Prema »Naredbi o izradi i upotrebi golih i izoliranih vodova i izoliranih cijevi« iz god. 1940 (JELKO — Jugoslavenski elektrotehnički komitet).
3) »Propisi za izolirane vodove jake struje«.
4) »Propisi za probno upotrebljive izolirane vodove jake struje«.
5) Vodovi navedeni u ovom stupcu ne upotrebljavaju se više prema VDE.

Opis u tački[1])	Oznaka JUS N.C0.006		Oznaka JELKO[2])	Oznaka VDE		
	nova iz VIII 1961.	stara iz 1955.		0250/11.60[3])	0283/11.60[4])	stariji propisi[5])
b) Vodovi za stalno polaganje za visoki napon						
42	.G/V	G/V	VG	NSGA		
43	G/MV	G/MV	VGm			NSGAB
44	G/FV	G/FV	VGf	NSGAF		
45	GG/MV	GG/MV				NSGABM
46	GG/FV	GG/FV		NSGAFM		
47	GAT 04			NLORAY		
48	GCT 04			NLORZY		
49	PAT 04			NYLORAY		
50	PCT 04			NYLORZY		
c) Vodovi za svjetiljke						
51	SG	SG	SJ	NFA		
52	SG/U	SG/U		NFAfl		
53	SG/P	SG/P		NFAvers		
54	SG/O	SG/K	SJG	NPL		
55	SP	SP			NYFA	
56	SP/U	SP/U				NYFAfl
57	SP/P	SP/P			NYFA vers	
58	SP/L	SP/L			NYFAZ	
59	SP/J					
60	SGG/R				NYFL	
61	ST				N2GSA	
62	ST/U				N2GSAfl	
63	ST/P				N2GSA vers	
d) Vodovi za pokretna trošila						
64	GT	G/O	GoG	NSArd		
65	GT/U			NSAfl		
66	GT/P	GP	GG	NSAvers		
67	GT/N					
68	GG/L	GG/L	RGCL	NLH		
69	GGT/L			NLHG		
70	GG/J	GG/J	RGCS	NMH		
71	GTT			NTK		
72	GG	GG/T	RGCT	NSH		
73	GG 50	RGG		NSSH		
74	GG 51			NSSHK		
75	TGT	DG				NFL
76	TGG			NFLG		
77	GG 70			NTM		
77	GG 71			NTS		
78	P/L	P/L				
79	P/LS				NYZ	
80	PP/J	PP/J			NYMHY	

[1]) do [5]) Vidi na prethodnoj strani.

285

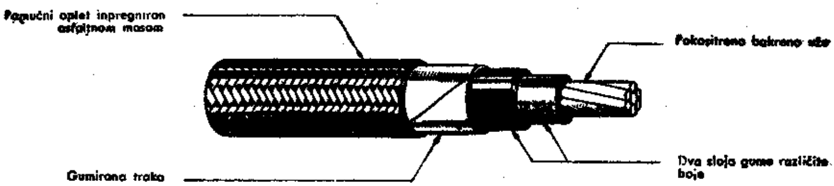
Izolirani vodovi

Oznake prema novom jugoslavenskom standardu N.C0.006/1961

U zagradi je na prvom mjestu oznaka prema propisima VDE, na drugom ranija jugoslavenska oznaka (JELKO) ako je ima, a na trećem oznaka prema JUS N.C0.006 iz 1955. godine (1. izdanje) ako se razlikuje od sadašnje oznake.

a) Vodovi za stalno polaganje za niski napon

1. G (NGA, NG) — Obični jednožilni vod izoliran gumom, boja normalno crna, na zahtjev siva. Nazivni napon 1000 V. Vodiči 1 do 16 mm² ili užeta 1,5 do 500 mm² (obično 10 do 185 mm²).



Vodič žica	Presjek mm²	1	1,5	2,5	4	6	10	16				
	Vanjski promjer mm	3,8	4,1	4,8	5,5	6,0	7,2	8,1				
	Težina kg/100 m	2,1	2,7	4,1	5,9	8,0	12,7	18,8				
Vodič uže	Presjek mm²	6	10	16	25	35	50	70	95	120	150	185
	Vanjski promjer mm	6,4	7,7	8,7	10,8	12,1	14,0	15,7	17,8	19,4	21,8	23,9
	Težina kg/100 m	8,6	13,7	20,0	30,7	41,1	57,5	77,9	104	129	162	198

Upotreba: Za polaganje u izolacionim cijevima ispod ili iznad žbuke ili na izolatorima u suhim prostorijama bez para ili korozivnih plinova. Za nadzemne vodove ne smije se upotrebljavati.

2. G/M (NGAB, NGm) — Kao G, ali mnogožičan pa prema tome savitljiv. Nazivni napon 1000 V, vodiči 1 do 500 mm².

3. G/F (NGAF, NGf) — Kao G, ali finožičan, tj. vodič ispleten od vrlo mnogo tankih žica pa prema tome vrlo savitljiv. Nazivni napon 1000 V, vodiči 1 do 500 mm².

4. G/N (NGAU) — Kao G, ali opleten nezapaljivim termootpornim opletom od azbestnog konca, impregniran teško upaljivom masom. Upotreba: Za polaganje u suhim prostorijama gdje se traži otpornost voda prema toplini i vatri.

5. GN/A (NGW) — Jednožilni vod izoliran gumom s vanjskim plaštem od neoprena otpornim na atmosferilije. Nazivni napon 1000 V. Vodiči su žice 1 do 16 mm², ili užeta 10 do 240 mm². Upotreba: Za polaganje na izolatorske koture u vlažnim prostorijama (i na dohvat ruke), za uvode u kuću, za vanjske instalacije (raspon do 20 m).

6. GN/AJ (NFGW) — Kao GN/A, ali vodič od tvrdog bakra. Upotreba: Za vanjske instalacije i nadzemne vodove.

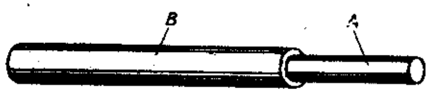
7. G/A (NGAW* AtG) — Jednožilni vod izoliran gumom, preko toga gumirana traka, pa 2 sloja otporne papirne trake, na to oplet od pamuka

* Stara oznaka VDE. (U novom izdanju propisa VDE tog voda više nema.)

impregniran masom crvene boje. Nazivni napon 1000 V. Vodiči su žice 1 do 16 mm² ili užeta 10 do 240 mm². U p o t r e b a: Kao 5. GN/A.

8. **G/AJ (NFGAW*)** — Kao G/A, ali vodič od tvrdog bakra.
U p o t r e b a: Za vanjske instalacije i nadzemne vodove.

9. **P (NYA)** prema JUS N.C3.200 — Obični jednožilni vod prevučen slojem pvc-mase proizvoljne boje. Nazivni napon 1000 V. Vodiči su žice 1 do 16 mm² ili užeta 1,5 do 500 mm² (obično 10 do 185 mm²).



A - goli nepokositreni bakreni vodič, B - izolacija od pvc-mase.

Vodič žica	Presjek mm² **	0,5	0,75	1	1,5	2,5	4	6	10	16		
	Vanjski promjer mm	1,7	2,2	2,3	2,6	3,2	3,9	4,4	5,6	6,5		
	Težina kg/100 m	0,85	1,07	1,32	1,83	2,95	4,59	6,54	11,0	16,6		
Vodič uže	Presjek mm²	6	10	16	25	35	50	70	95	120	150	
	Vanjski promjer mm	4,5	5,7	7,1	8,8	10,1	12,0	13,7	15,8	17,4	19,8	
	Težina kg/100 m	7,6	11,4	17,4	27,1	35,9	52,5	72,0	97,2	121	152	186

U p o t r e b a: Za polaganje u izolacionim cijevima ispod ili iznad žbuke ili na izolatorima u suhim prostorijama. Ne smiju se upotrebljavati u prostorijama gdje se mogu jače zagrijavati (ložionice, talionice i sl.)

10. **P/M (NYAB)** prema JUS N.C3.201 — Kao P ali mnogožičan pa prema tome savitljiv. Nazivni napon 1000 V, vodiči 1 do 500 mm².

11. **P/F (NYAF)** prema JUS N.C3.202 — Kao P, ali finožičan, tj. vodič ispleten od vrlo mnogo tankih žica pa prema tome vrlo savitljiv. Nazivni napon 1000 V, vodiči 1 do 500 mm².

12. **P/J (NSYA)** prema JUS N.C3.203 — Jednožilni vod prevučen pojačanim slojem pvc-mase proizvoljne boje. Nazivni napon 1000 V. Vodiči su žice 1 do 16 mm² ili užeta 10 do 500 mm².

Vodič žica	Presjek mm²	1	1,5	2,5	4	6	10	16				
	Vanjski promjer mm	3,2	3,7	4,1	4,6	5,1	6,4	7,3				
	Težina kg/100 m	1,8	2,3	3,4	5,1	7,0	11,5	18,0				
Vodič uže	Presjek mm²	10	16	25	35	50	70	95	120	150	185	240
	Vanjski promjer mm	6,9	7,9	9,7	11,0	13,0	15,0	17,5	19,0	21,0	23,5	26,5
	Težina kg/100 m	11,7	18,2	28,0	37,6	53,1	72,7	97,7	123	155	189	

U p o t r e b a: Za polaganje u vlažnim prostorijama i na slobodnom na izolatore, za kućne uvode, za polaganje na strojevima (npr. alatnim) i na brodovima (gdje je potrebno uz odgovarajuću mehaničku zaštitu.)

13. **P/MJ (NSYAB)** prema JUS N.C3.204 — Kao P/J, ali mnogožičan pa prema tome savitljiv. Nazivni napon 1000 V, vodiči 1 do 500 mm².

14. **P/FJ (NSYAF)** prema JUS N.C3.205 — Kao P, ali finožičan, tj. vodič ispleten od vrlo mnogo tankih žica pa prema tome vrlo savitljiv. Nazivni napon 1000 V, vodiči 1 do 500 mm².

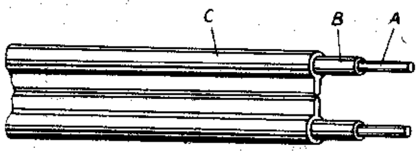
15. **PP/A (NYW)** — Jednožilni vod s izolacijom i plaštem od pvc-mase otpornim prema atmosferilijama. Nazivni napon 1000 V, vodič 1 do 500 mm².

* Stara oznaka VDE. (U novom izdanju propisa VDE tog voda više nema.)
** Presjeci 0,5 i 0,75 mm² nisu standardizirani.

U p o t r e b a: Za polaganje na izolatorske koture u vlažnim prostorijama (i na dohvat ruke), za uvode u kuću, za vanjske instalacije (raspon do 20 m).

16. PP/AJ (NFYW) — Kao PP/A, ali vodič od tvrdog bakra. U p o t r e b a : Za vanjske instalacije i nadzemne vodove.

17. PP/R (NYIFY) prema JUS N.C3.230 — Dvožilni ili trožilni vod s razmaknutim žilama, s izolacijom i plaštem od pvc-mase. Nazivni napon 380 V, vodiči 1,5 do 4 mm².

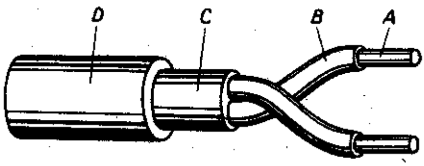


A — goli nepokositreni bakreni vodič, B — izolacija od pvc-mase, C — plašt od pvc-mase.

U p o t r e b a : Za polaganje u suhim prostorijama u žbuku ili pod žbuku.

18. PG/R (NYIF) prema JUS N.C3.230. — Kao PP/R, ali s plaštem od pvc-mase. U p o t r e b a : kao PP/R.

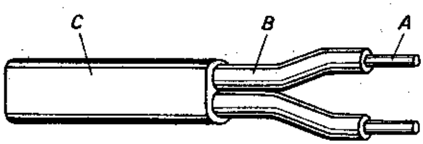
19. PP (NYM, —, PGP) prema JUS N.C3.220. — Višežilni vod s izolacijom i plaštem od pvc-mase. Nazivni napon 500 V, vodiči 2, 3, 4 ili 5 × 1,5 do 35 mm².



A — goli nepokositreni bakreni vodič, B — izolacija od pvc-mase, C — ispuna, D — plašt od pvc-mase.

U p o t r e b a : Za polaganje u suhim i vlažnim prostorijama na žbuku, u žbuku i pod žbuku. (Prema VDE smiju se polagati i na slobodnom, ali ne u zemlju.)

20. PP/U prema JUS N.C3.235. — **Kao PP**, ali s usporednim žilama. Nazivni napon 500 V, vodiči 2 ili 3 × 1,5 do 6 mm².

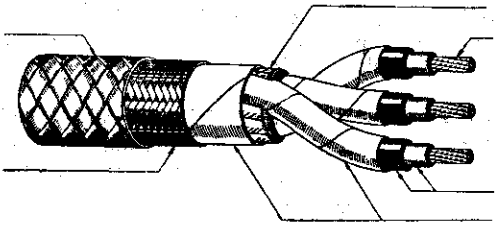


A - goli nepokositreni bakreni vodič, B - izolacija od pvc-mase, C - plašt od pvc-mase.

Upotreba: Za polaganje u suhim prostorijama na žbuku ili čelične konstrukcije.

21. **PP/Z (NHYM)** — Kao PP, ali iznad izolacije a ispod plašta dolazi oplet od bakrene žice. Upotreba: Za polaganje kao PP, ali u visokofrekventnim postrojenjima.

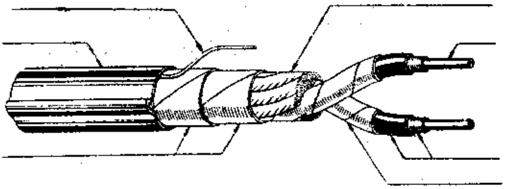
22. **G/Z (NPA*, ZGŽO, GŽ)** — Višežilni vod izoliran gumom i zaštićen žičanim opletom. Nazivni napon 1000 V, vodiči 2, 3 ili 4 × 1,5 do 185 mm².



Presjek mm²	3×1,5	3×2,5	3×4	3×6	3×10	3×16	3×25	3×35
Vanjski promjer mm	13,0	13,5	15,0	16,0	18,5	21,5	26,0	28,5

Upotreba: Za vidljivo polaganje tamo gdje vod mora biti zaštićen od mehaničkog oštećenja (npr. na strojevima, čeličnim konstrukcijama, zidu). Polaganje u žbuku ili pod žbuku nije dozvoljeno.

23. **GMT (NRAM, MGO, GM)** — **Kulo**-vod: višežilni cijevni vod s izolacijom od gume u cijevi od poolovljene čelične trake s uzdužnim šavom. Nazivni napon 380 V, vodiči 2, 3 ili 4 × 1,5 i 2,5 mm².



Presjek mm²	2×1,5	2×2,5	3×1,5	3×2,5	4×1,5	4+2,5
Vanjski promjer mm	8,4	9,5	9,0	10,0	9,6	11,0

Upotreba: Za polaganje na zidu u suhim prostorijama. Polaganje u žbuku ili pod žbuku nije dozvoljeno. Dodatna žica (nulvodič) prema slici ne izrađuje se više jer se ne smije upotrebljavati.

24. **GAT (NRAMA, MGA)** — Kao GMT, ali cijev od aluminijske trake.

25. **GCT (NRAMZ)** — Kao GMT, ali cijev od cinkove trake.

26. **PMT (NYRAM, —, PM)** — Kulo pvc-vod: Izradba kao GMT, samo što umjesto 2 sloja gume i gumirane trake dolazi jedan jedini sloj pvc-mase. Nazivni napon 1000 V.

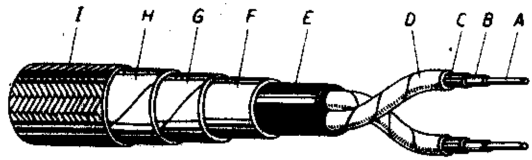
---

* Stara oznaka VDE. (U novom izdanju propisa VDE tog voda više nema.)

Presjek mm²	2×1,5	2×2,5	3×1,5	3×2,5	4×1,5	4×2,5
Vanjski promjer mm	6,3	7,5	6,7	8,0	7,4	8,8

Upotreba: Kao GMT.

27. **PAT (NYRAMA)** — Kao PMT, ali cijev od aluminijske trake.
28. **PCT (NYRAMZ)** — Kao PMT, ali cijev od cinkove trake.
29. **GMT 04 (NRUY)** — Kao GMT, ali preko metalnog plašta dolazi zaštitni plašt od pvc-mase. Upotreba: Za polaganje u vlažnim prostorijama na, u i pod žbuku. Smije se polagati i na slobodnom, ali ne u zemlju.
30. **GAT 04 (NRUAY)** — Kao GMT 04, ali cijev od aluminijske trake.
31. **GCT 04 (NRUZY)** — Kao GMT 04, ali cijev od cinkove trake.
32. **PMT 04 (NYRUY)** — Kao GMT 04, ali izolacija od plastične mase.
33. **PAT 04 (NYRUAY)** — Kao GAT 04, ali izolacija od plastične mase.
34. **GO 02 (NBU*, OG, GOT)** — Višežilni kabel sa gumenom izolacijom, olovnim plaštem i impregniranim tekstilnim opletom. Nazivni napon 500 V, vodiči 2, 3, 4 ili 5 × 1,5 do 35 mm².



A - pokositreni bakreni vodič, B i C - dva sloja vulkanizirane gume, D - gumirana tekstilna traka, E - gumeni plašt, F - olovni plašt premazan asfaltnom masom, G i H - impregnirani papirni omoti, I - pamučni oplet impregniran asfaltnom masom.

Presjeci i vanjski promjeri:

Presjek mm²	Vanjski promjer mm	Presjek mm²	Vanjski promjer mm	Presjek mm²	Vanjski promjer mm	Presjek mm²	Vanjski promjer mm
2×1,5	13	3×1,5	13,5	4×1,5	14,5	5×1,5	
2×2,5	14	3×2,5	15	4×2,5	16	5×2,5	
2×4	16	3×4	16,5	4×4	18	5×4	
2×6	17	3×6	17,5	4×6	19	5×6	
2×10	20	3×10	21	4×10	22,5	5×10	
2×16	23	3×16	24	4×16	26,5	5×16	
2×25	27	3×25	28	4×25	32	5×25	
2×35	31	3×35	32	4×35	36	5×35	

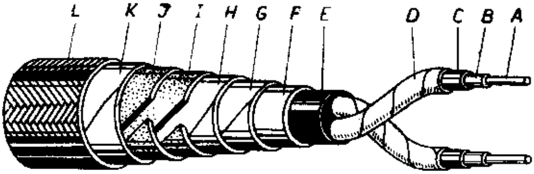
Upotreba: Kao GMT 04.

* Stara oznaka VDE. (U novom izdanju propisa VDE tog voda više nema.)

35. GO 04 (NBUY, —, GOP) — Kao GO 02, ali umjesto tekstilnog opleta plašt od pvc-mase. Vanjski promjer oko 1 mm manji nego za GOT.

Upotreba: Kao GMT 04.

36. GO 12 (NBEU*, OGŽ, GOČ) — Višežilni kabel sa gumenom izolacijom, olovnim plaštem, impregniranim tekstilnim opletom i mehaničkom zaštitom od čelične trake. Nazivni napon 500 V.



A - pokositreni bakreni vodič, B i C - dva sloja vulkanizirane gume, D - gumirana tekstilna traka, E - gumeni plašt, F - olovni plašt premazan asfaltnom masom, G i H - dva sloja čelične trake premazane asfaltnom masom, I i J - impregnirani papirni omoti, K - impregnirani tekstilni omot, L - pamučni oplet impregniran asfaltnom masom.

Presjeci i vanjski promjeri:

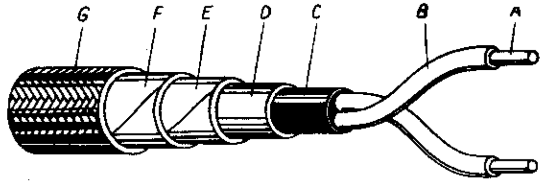
Presjek mm²	Vanjski promjer mm	Presjek mm²	Vanjski promjer mm	Presjek mm²	Vanjski promjer mm	Presjek mm²	Vanjski promjer mm
2×1,5	14,5	3×1,5	15	4×1,5	16,5	5×1,5	
2×2,5	15,5	3×2,5	16,5	4×2,5	17,5	5×2,5	
2×4	17,5	3×4	18	4×4	19,5	5×4	
2×6	18,5	3×6	19	4×6	20,5	5×6	
2×10	21,5	3×10	22,5	4×10	23	5×10	
2×16	24,5	3×16	25,5	4×16	28	5×16	
2×25	28,5	3×25	30	4×25	33,5	5×25	
2×35	32,5	3×35	34	4×35	37,5	5×35	

Upotreba: Za polaganje u vlažnim prostorijama na, u i pod žbuku, naročito tamo gdje su vodovi izloženi mehaničkom oštećenju ili kemijskim utjecajima. Smije se polagati i na slobodnom, ali ne u zemlju.

37. GO 14 (NBEUY*) — Kao GO 12, ali umjesto tekstilnog opleta plašt od pvc-mase. Upotreba: Kao GO 12.

* Stara oznaka VDE. (U novom izdanju propisa VDE tog voda više nema.)

38. PO 02 (NYBU*, —, POT) — Kao GO 02, ali s izolacijom od pvc-mase. Nazivni napon 500 V.



A - goli nepokositreni bakreni vodič, B - izolacija od pvc-mase, C - gumeni plašt, D - olovni plašt premazan asfaltnom masom, E i F - impregnirani papirni omoti, G - pamučni oplet impregniran asfaltnom masom.

Presjeci i vanjski promjeri:

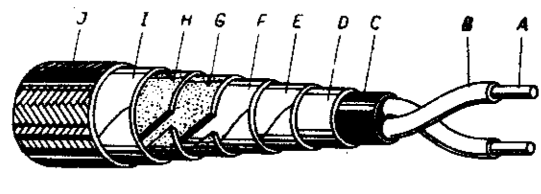
Presjek mm²	Vanjski promjer mm	Presjek mm²	Vanjski promjer mm	Presjek mm²	Vanjski promjer mm	Presjek mm²	Vanjski promjer mm
2×1,5	11	3×1,5	11,5	4×1,5	12	5×1,5	
2×2,5	12,5	3×2,5	13	4×2,5	13,5	5×2,5	
2×4	14	3×4	14,5	4×4	15,5	5×4	
2×6	15	3×6	15,5	4×6	16,5	5×6	
2×10	18	3×10	18,5	4×10	20,5	5×10	
2×16	21	3×16	22	4×16	24,5	5×16	

Upotreba: Kao GMT 04.

39. PO 04 (NYBUY, —, POP) — Kao GO 04, ali s izolacijom od pvc-mase. Nazivni napon 500 V. Vanjski promjer oko 1 mm manji nego za GOP.

Upotreba: Kao GMT 04.

40. PO 12 (NYBEU*, —, POČ) — Kao GO 12, ali s izolacijom od pvc-mase. Nazivni napon 500 V.



A - goli nepokositreni bakreni vodič, B - izolacija od pvc-mase, C - gumeni plašt, D - olovni plašt premazan asfaltnom masom, E i F - dva sloja čelične trake premazane asfaltnom masom, I - impregnirani tekstilni omot, J — pamučni oplet impregniran asfaltnom masom.

* Stara oznaka VDE. (U novom izdanju propisa VDE tog voda više nema.)

Presjeci i vanjski promjeri:

Presjek mm^2	Vanjski promjer mm	Presjek mm^2	Vanjski promjer mm	Presjek mm^2	Vanjski promjer mm	Presjek mm^2	Vanjski promjer mm
2×1,5	12,5	3×1,5	13	4×1,5	13,5	5×1,5	
2×2,5	14	3×2,5	14,5	4×2,5	15	5×2,5	
2×4	15,5	3×4	16	4×4	17	5×4	
2×6	16,5	3×6	17	4×6	18,5	5×6	
2×10	19,5	3×10	20,5	4×10	22	5×10	
2×16	22,5	3×16	23,5	4×16	26	5×16	

Upotreba: Kao GO 12.

41. PO 14 (NYBEUY*) — Kao GO 14, ali s izolacijom od pvc-mase. Nazivni napon 500 V. Upotreba: Kao GO 12.

b) Vodovi za stalno polaganje za visoki napon

42. G/V (NSGA, VG) — Jednožilni vod izoliran s nekoliko slojeva gume, omotan gumiranom trakom, opleten pamukom ili sličnim i impregniran. Nazivni napon 2, 3, 6, 10 ili 15 kV, vodič 1,5 do 300 mm^2, obično do 185 mm^2. Upotreba: Za stalno polaganje u suhim prostorijama i na šinskim vozilima.

43. G/MV (NSGAB*, VGm) — Kao G/V, ali mnogožičan pa prema tome savitljiv, 1,5 do 300 mm^2 (obično do 185 mm^2).

44. G/FV (NSGAF, VGf) — Kao G/V, ali finožičan, tj. vodič ispleten od vrlo mnogo tankih žica pa prema tome vrlo savitljiv, 1,5 do 300 mm^2 (obično do 185 mm^2).

45. GG/MV (NSGABM*) — Kao G/MV, ali s vanjskim gumenim plaštem.

46. GG/FV (NSGAFM) — Kao G/FV, ali s vanjskim gumenim plaštem.

47. GAT 04 (NLORAY) — Višežilni cijevni vod (kabel) s gumenom izolacijom u cijevi od aluminijske trake i s vanjskim zaštitnim plaštem od pvc-mase. Nazivni napon (najviši napon prema zemlji) 3750 V, vodiči 1,5 do 4 mm^2. Upotreba: Za instalacije sa svjetlosnim cijevima (»neonska rasvjeta«), za polaganje na žbuku u suhim i vlažnim prostorijama i na slobodnom (vidi npr. VDE 0128, § 10).

48. GCT 04 (NLORZY) — Kao GAT 04, ali cijevi od cinkove trake.

49. PAT 04 (NYLORAY) — Kao GAT 04, ali s izolacijom od pvc-mase.

50. PCT 04 (NYLORZY) — Kao GCT 04, ali s izolacijom od pvc-mase.

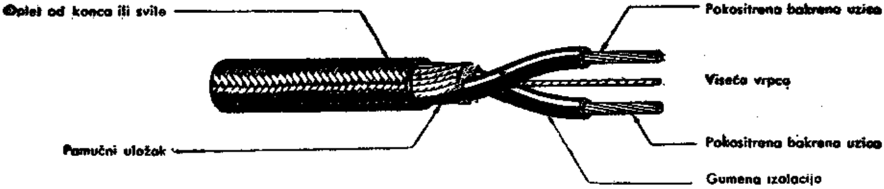
c) Vodovi za svjetiljke

Smiju se upotrebljavati samo u svjetiljkama i na njima.
Za priključak pokretnih trošila, pa ni svjetiljaka, nisu dozvoljeni.

51. SG (NFA, SJ) — Vod za svjetiljke s izolacijom od gume, použen s ispunom i opleten pamukom, koncem, umjetnom svilom ili sl. Nazivni napon 380 V; vodiči 1 ili 2 × 0,35 do 2,5 mm^2. Upotreba: Za stalno polaganje u svjetiljke i na njih.

* Stara oznaka VDE. (U novom izdanju propisa VDE tog voda više nema.)

52. **SG/U (NFAfl)** — Kao SG, ali plosnat (s usporednim žilama).
53. **SG/P (NFAvers)** — Kao SG, ali použen.
54. **SG/O (NPL, SJG, SG/K)** — Ovjesni gajtan za viseće svjetiljke.
Nazivni napon 380 V, vodiči 2 ili 3 × 0,75, 1 i 1,5 mm².



Upotreba: Za dovod struje i istodobno pričvršćenje visećih poteznih svjetiljaka. Ne smije se upotrebljavati u prostorijama u kojima ima lako upaljivih tvari.

55. **SP (NYFA)** — Vod za svjetiljke s izolacijom od pvc-mase. Nazivni napon 380 V, vodiči 1, 2 ili 3 × 0,25 do 1,5 mm².



Upotreba: Za stalno polaganje u svjetiljke i na njih.

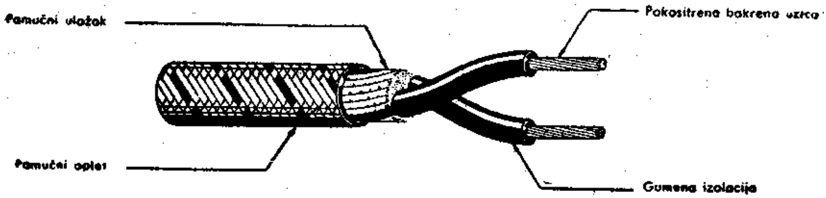
56. **SP/U (NYFAfl*)** — Kao SP, ali plosnat (s usporednim žilama).
57. **SP/P (NYFAvers)** — Kao SP, ali použen.
58. **SP/L (NYFAZ)** — Dvožilni vod za svjetiljke s izolacijom od pvc-mase, bez opleta, vodiči usporedni, lagano spojeni pvc-masom. Nazivni napon 380 V, vodiči 1, 2 ili 3 × 0,75 mm². Upotreba: Za stalno polaganje u svjetiljke i na njih.
59. **SP/J** — Vod za svjetiljke s pojačanom izolacijom od pvc-mase.
60. **SGG/R (NYFL)** — Dvožilni vod za priključak iluminacionih grla, s izolacijom i plaštem od gume, s malo razmaknutim žilama. Nazivni napon 380 V, vodiči 2 × 1,5 mm². Upotreba: Za vanjsku montažu, za nošenje iluminacionih grla uz malo mehaničko naprezanje (maksimalno opterećenje 5 kp, vidi VDE 0283/12.57, § 17).
61. **ST (N2GSA)** — Vod za svjetiljke otporan prema visokoj temperaturi, izolacija od umjetne gume, oplet (samo višežilnih vodova) od staklene svile ili sl. Nazivni napon 380 V, vodiči 1, 2 ili 3 × 0,75 do 1,5 mm². Upotreba: Za stalno polaganje u svjetiljke i na njih (prema VDE 0283 dozvoljen i za priključak lakih pokretnih trošila).
62. **ST/U (N2GSAfl)** — Kao ST, ali s usporednim žilama.
63. **ST/P (N2GSAvers)** — Kao ST, ali použen.

d) Vodovi za pokretna trošila

64. **GT (NSArd, GoG, G/O)** — Okrugli gajtan izoliran gumom i opleten pamukom, svilom ili koncem. Nazivni napon 380 V, vodiči 1, 2 ili 3×0,75 do 2,5 mm².

---

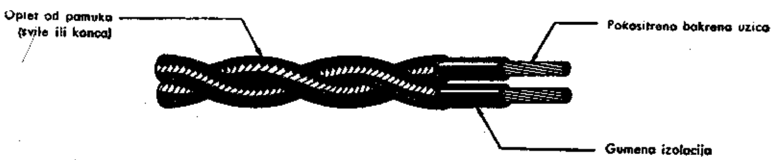
* Stara oznaka VDE. (U novom izdanju propisa VDE tog voda više nema.)



Upotreba: Za priključak malih pokretnih trošila uz malo mehaničko opterećenje.

65. GT/U (NSAfl) — Kao GT, ali s usporednim žilama.

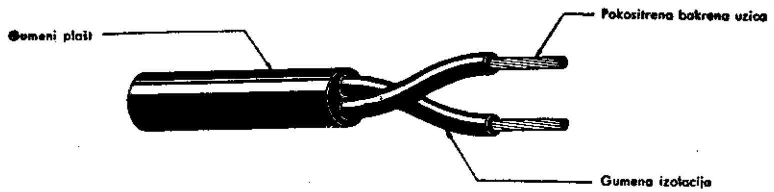
66. GT/P (NSAvers, GG, GP) — Kao GT, ali použen.



Upotreba: Kao GT.

67. GT/N — Okrugli gajtan otporan prema toplini, izoliran gumom, opleten koncem otpornim na toplinu. Nazivni napon 380 V, vodiči 2 ili 3×1 ili 1,5 mm^2. Upotreba: Za ručne svjetiljke i male sprave kad je potrebna otpornost na toplinu.

68. GG/L (NLH, RGCL) — Laki gumeni vod (s izolacijom i plaštem od gume), okrugao. Nazivni napon 380 V, vodiči 2, 3 ili $4 \times 0{,}75$ do 1,5 mm^2.



Upotreba: U suhim prostorijama za male ručne sprave i elektrotoplinske sprave uz mala mehanička naprezanja.

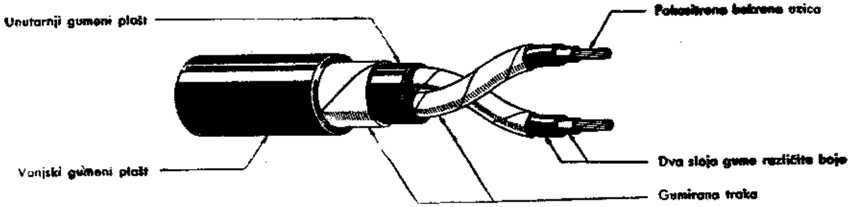
69. GGT/L (NLHG) — Kao GG/L, ali opleten pamukom, svilom ili koncem.

70. GG/J (NMH, RGCS) — Ojačani gumeni vod; izolacija od gume, omot od tekstila, plašt od gume. Nazivni napon za presjeke do 1,5 mm^2 380 V, za veće presjeke 1000 V. Vodiči 1 do $5 \times 0{,}75$ do 6 mm^2.

Upotreba: Za vlažne prostorije i na slobodnom za srednja mehanička naprezanja, npr. za kuhinjske sprave (kuhala sa žarnim pločama, lonci za kuhanje i sl.), za radioničke sprave (ručne bušilice, ručne svjetiljke i sl.) i poljoprivredne sprave.

71. GTT (NTK) — Višežilni vod za pozornice izoliran gumom, vodiči omotani tekstilnom trakom, poušeni pa omotani impregniranom tekstilnom trakom; vod opleten pamukom ili sl. te ponovo opleten koncem. Upotreba: Za priključak pokretnih svjetiljaka na suhim pozornicama i u drugim suhim prostorijama.

72. GG (NSH, RGCT, GG/T) — Gumeni kabel (teški gumeni vod). Nazivni napon 1000 V. Presjeci: jednožilni 1,5 do 400 mm^2; dvožilni, trožilni do četvorožilni 1,5 do 185 mm^2; 5 do 7-žilni 1,5 do 6 mm^2.



Upotreba: U vlažnim prostorijama i na slobodnom za pogone većih naprava ili s velikim mehaničkim opterećenjem, npr. za alate, prevozive motore, poljoprivredne strojeve.

73. GG 50 (NSSH, —, RGG) — Rudarski kabel s unutrašnjim i vanjskim gumenim plaštem. Nazivni napon 1000 V, presjeci kao GG.

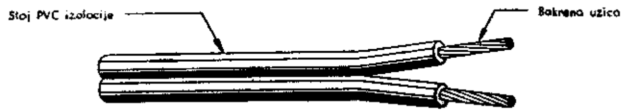
74. GG 51, GG 53, GG 55, GG 57, GG 62, GG 63 — razni rudarski kabeli s izolacijom i plaštem od gume.

75. TGT (NFL*, —, DG) — Komandni kabel za liftove s izolacijom od tekstila i gume i zaštitom od tekstila. Nazivni napon 380 V, vodiči 2 do 24 × 1 mm^2. Upotreba: Za liftove u suhim prostorijama.

76. TGG (NFLG) — Kao TGT, ali zaštita od gume. Upotreba: Za liftove u vlažnim prostorijama i na slobodnom.

77. GG 70 do GG 75 — Razni kabeli za dizalice s izolacijom i plaštem od gume.

78. P/L — Laki dvožilni pvc-vod. Nazivni napon 380 V, vodiči 2 × 0,25 do 1,5 mm^2.



Upotreba: Za suhe prostorije i mala pokretna trošila, npr. stolne svjetiljke, radio-aparate. Nije za toplinske naprave.

79. P/LS (NYZ) — Kao P/L, ali naročito savitljiv.

80. PP/J (NYMHY) — Ojačani višežilni pvc-vod s izolacijom i plaštem od pvc-mase. Nazivni napon 380 V, vodiči 2 do 5 × 0,75 do 2,5 mm^2 (pa i do 6 mm^2). Upotreba: U vlažnim prostorijama za kućanske sprave, u suhim prostorijama i za druga trošila.

---

* Stara oznaka VDE. (U novom izdanju propisa VDE tog voda više nema.)

Izolirana okrugla bakrena žica (dinamo žica)

1. Jugoslavenski standardi (izdanje 1958. godine)

JUS N.C7.010: Izolirana okrugla bakrena žica — ispitivanja.

JUS N.C7.110: Okrugla bakrena lak-žica — propisi za izradu i isporuku.

JUS N.C7.120: Izolirana okrugla bakrena žica — jednom ili više puta omotana — propisi za izradu i isporuku.

JUS N.C7.121: Izolirana okrugla bakrena žica — lakirana i jednom ili više puta omotana — propisi za izradu i isporuku.

2. Nazivni promjer

Nazivni promjer izolirane žice je uvijek promjer gole (neizolirane) bakrene žice od koje je izolirana žica izrađena. Kao poluproizvod za izradu izolirane žice (dinamo žice) služi meka bakrena okrugla žica vučena na tačnu mjeru prema JUS N.C7.101 (vidi 79, str. 171).

3. Lakirana bakrena žica (prema JUS N.C7.110)

Tip M za el. strojeve (mašine) i transformatore, tip T za telekomunikacije i mjerne uređaje.

Oznaka: L — lakirana bakrena žica za strojeve i transformatore[1]), LT — isto za telekomunikacije i mjerne uređaje, 2L odn. 2LT — dvostruko lakirana bakrena žica.

Jednostruko lakirana žica (L)			Dvostruko lakirana žica (2L)		
Nazivni promjer*	Povećanje promjera zbog izolacije		Nazivni promjer*	Povećanje promjera zbog izol.	
	nazivna vrijednost	tolerancija		nazivna vrijednost	tolerancija
mm	mm	± %	mm	mm	± %
0,03 i 0,04	0,008	0,002	0,03 i 0,04	0,014	0,003
0,05 i 0,06	0,010	0,003	0,05 i 0,06	0,018	0,004
0,07 i 0,08	0,012	0,004	0,07 i 0,08	0,021	0,004
0,09—0,12	0,015	0,004	0,09—0,12	0,026	0,005
0,13—0,2	0,020	0,004	0,13—0,2	0,034	0,007
0,21—0,3	0,025	0,005	0,21—0,3	0,043	0,010
0,31—0,4	0,030	0,007	0,31—0,4	0,050	0,010
0,42—0,5	0,035	0,007	0,42—0,5	0,060	0,015
0,55—0,7	0,040	0,010	0,55—0,7	0,070	0,015
0,75—1	0,050	0,010	0,75—1	0,085	0,020
1,05—2	0,060	0,015	1,05—2	0,100	0,020
2,1 —3	0,070	0,015	2,1 —3	0,120	0,025

Najveći promjer izolirane žice dobije se kao zbroj: nazivni promjer + + tolerancija za golu žicu (vidi 79, str. 171) + povećanje promjera zbog izolacije + tolerancija za povećanje promjera.

[1]) Slovo M (oznaka tipa) izostavlja se iz oznake žice.
*) Vidi tačku 2 i primjedbu ispod tablice.

4. Omotana bakrena žica (prema JUS N.C7.120)

Tip M za el. strojeve (mašine) i transformatore, tip T za telekomunikacije i mjerne uređaje.

S, 2S — 1 × odnosno 2 × omotana prirodnom svilom.
Ts, 2Ts — 1 × odnosno 2 × omotana triacetatom umjetnom svilom.
Bs, 2Bs — 1 × odnosno 2 × omotana bakrenom umjetnom svilom.
Vs, 2Vs — 1 × odnosno 2 × omotana viskoznom umjetnom svilom.
Ss, 2Ss — 1 × odnosno 2 × omotana staklenom svilom[1]).
Pm, 2Pm — 1 × odnosno 2 × omotana pamukom.
Vv, 2Vv — 1 × odnosno 2 × omotana umjetnom (vještačkom) vunom.
Pr, 2Pr — 1 × odnosno 2 × omotana papirom.
Tf, 2Tf — 1 × odnosno 2 × omotana triacetatnom folijom.

Ako je žica tipa T, dodaje se gornjim oznakama slovo T. Primjer potpune oznake žice: 2Pm 1,5 E.Cu JUS N.C7.120.

Oznaka žice	Maksimalno povećanje promjera u mm zbog izolacije, ako je nazivni promjer* (u mm)									
	od 0,03 do 0,05	preko 0,05 do 0,10	preko 0,10 do 0,20	preko 0,20 do 0,30	preko 0,30 do 0,50	preko 0,50 do 0,80	preko 0,80 do 1,50	preko 1,50 do 3,00	preko 3,00 do 4,00	preko 4,00 do 6,00
S	0,035	0,035	0,035	0,04	0,04	0,04				
2S	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,08	0,10			
Ts	0,04	0,04	0,04	0,04	0,05	0,05				
2Ts	0,08	0,08	0,08	0,08	0,09	0,09	0,11			
Bs		0,05	0,05	0,05	0,06	0,06	0,07			
2Bs		0,09	0,09	0,09	0,11	0,11	0,12			
Vs			0,08	0,08	0,10	0,10	0,11	0,11		
2Vs			0,15	0,15	0,18	0,18	0,19	0,19		
Ss						0,12	0,12	0,15		
2Ss						0,22	0,22	0,26	0,30	0,40
Pm			0,10	0,10	0,12	0,12	0,12	0,15		
2Pm			0,16	0,16	0,22	0,22	0,22	0,26	0,30	0,40
Vv					0,13	0,13	0,13	0,16		
2Vv					0,22	0,22	0,22	0,26	0,30	0,40
Pr					0,12	0,12	0,12	0,15	0,20	0,20
2Pr					0,22	0,22	0,22	0,26	0,30	0,35
Tf					0,10	0,10	0,10	0,13	0,13	0,13
2Tf					0,20	0,20	0,20	0,25	0,25	0,25

Jednoslojna izolacija nije dovoljno sigurna, pa se ne preporučuje. Vrijednosti u tablici za jednoslojnu izolaciju služe za izračunavanje promjera kod mješovitih izolacija. Za žice s mješovitom izolacijom povećanje promjera dobiva se kao zbroj pojedinih vrijednosti prema gornjoj tablici.

Najveći promjer izolirane žice dobije se kao zbroj: nazivni promjer žice + tolerancija za golu žicu (vidi 79, str. 171) + najveće povećanje promjera prema gornjoj tablici. Dozvoljeno odstupanje od tako izračunatog promjera je za žice izolirane staklenom svilom i triacetatnim folijama —20%, a za sve ostale vrsti izolacije —10%.

[1]) Žica je nakon opletanja lakirana. Dopunsko povećanje izolacije zbog lakiranja uzeto je u obzir u tablici.

* Vidi tačku 2.

Fabrika kablova Svetozarevo (FKS) proizvodi lakiranu žicu u ovim kvalitetima:

Duramid: Lak na bazi poliamid-poliuretanskih smola. Termička klasa E (maksimalna radna temperatura 120⁰ C). Odlična mehanička i dobra električka svojstva. Dozvoljena strujna preopterećenja. Upotrebljava se isključivo u elektrostrojogradnji.

Lakofiks: Lak na bazi poliuretana. Termička klasa E (maks. radna temperatura 120⁰ C.) Lemi se direktno bez prethodnog skidanja laka. Ima odličan otpor izolacije i na velikoj relativnoj vlažnosti zraka. Lak normalno bezbojan, na zahtjev obojen. Upotrebljava se u industriji telekomunikacija i za namatanje rotora malih kolektorskih motora. Lak je normalno bezbojan, a na zahtjev može biti obojen.

Duroform: Lak na bazi polivinil-formala ili polivinil-acetala. Termička klasa E (maks. radna temperatura 120⁰ C). Odlična električka i mehanička svojstva, posebno velika otpornost na habanje. Ne dozvoljava veća strujna preopterećenja. Upotrebljava se u elektrostrojogradnji i telekomunikacionoj industriji. **Duroform F:** Upotrebljava se u industriji rashladnih uređaja jer je otporan na freon 12 i freon 22.

Epidur: Lak na bazi epoksidnih smola. Termička klasa E (maks. radna temperatura 120⁰ C). Odlična električka i dobra mehanička svojstva. Dozvoljava velika kratkotrajna strujna preopterećenja. Upotrebljava se u elektrostrojogradnji i telekomunikacionoj industriji.

Plastofiks: Plastofiks lakirana žica izrađuje se od lakirane žice duramid, lakofiks, duroform ili epidur nanošenjem sloja specijalnog termoplastičnog laka. Ovaj sloj laka omogućuje da se namoti izrađeni od ove vrsti žice međusobno slijepe tako da je naknadno impregniranje nepotrebno. To sljepljivanje namota postiže se različitim postupcima. Termička klasa A (maks. radna temperatura 105⁰ C). Upotrebljava se u proizvodnji televizora, za namatanje statora malih kolektorskih motora, za električna brojila i dr.

Profleks: Profilna lakirana žica izolirana lakom na bazi polivinil-formala, poliamida ili politereftalata. Termička klasa E (maks. radna temperatura 120⁰ C. Dobra mehanička i električka svojstva. Upotrebljava se za namote transformatora, elektromotora, električnih brojila i dr.

Termodur: Lak na bazi tereftalne kiseline. Termička klasa F (maks. radna temperatura 155⁰ C). Dobra električka i mehanička svojstva, naročito otpornost na habanje. Otporan prema većini rastvarača. Upotrebljava se u elektrostrojogradnji, specijalno u industriji rashladnih uređaja (lak otporan na freon 12 i freon 22).

5. Lakirana i omotana bakrena žica (prema JUS N.C7.121)

To je jednostruko lakirana žica omotana nakon lakiranja. Tipovi i oznake jednaki su kao za omotanu bakrenu žicu prema tački 4, samo što se pred oznaku dodaje slovo L. Primjer potpune oznake žice: L2Vs 0,55 E.Cu JUS N.C7.121.

Najveći promjer izolirane žice dobije se kao zbroj: nazivni promjer žice + tolerancija za golu žicu (vidi 79, str. 171) + povećanje promjera zbog lakiranja prema tablici u tački 3 + najveće povećanje promjera zbog omota prema tablici u tački 4. Kod mješovitih izolacija postupa se analogno kako je navedeno u tački 4.

RASKLOPNA I RAZVODNA POSTROJENJA

Približni proračun struje i snage kratkog spoja*

a) Općenito

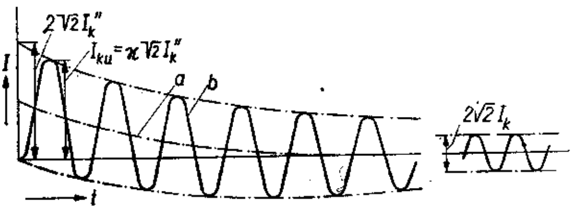
Za mehaničko i termičko dimenzioniranje pojedinih dijelova rasklopnih postrojenja te za izbor rasklopnih aparata potrebno je odrediti:

— amplitudu udarne struje kratkog spoja (mjerodavna za mehaničko dimenzioniranje postrojenja),

— struju i snagu isklapanja (mjerodavne za izbor rasklopnih aparata),

— efektivnu srednju vrijednost struje kratkog spoja (mjerodavnu za termičko dimenzioniranje postrojenja).

Kao pomoćno sredstvo za proračun gornjih veličina određuju se još izmjenična komponenta udarne struje kratkog spoja te eventualno trajna struja kratkog spoja. Značenje pojedinih veličina vidi se jasnije iz dijagrama struje kratkog spoja u ovisnosti o vremenu t:



a - istosmjerna komponenta struje kratkog spoja, b - asimetrična struja kratkog spoja, I_{ku} - amplituda udarne struje kratkog spoja, I_k'' - efektivna vrijednost izmjenične komponente udarne struje kratkog spoja, I_k - trajna struja kratkog spoja, $\varkappa$ - udarni broj — faktor koji ovisi o omjeru djelatnog i induktivnog otpora petlje kratkog spoja, a može se uzeti iz slike na str. 464.

U mrežama s izoliranom nul-tačkom ili s nul-tačkom uzemljenom preko dovoljnog induktiviteta (potpuna kompenzacija ili potkompenzacija) ili otpornika najjače struje se pojavljuju u tropolnom kratkom spoju. U mrežama s nul-tačkom uzemljenom preko malog induktiviteta (natkompenzacija) mogu struje u dvopolnom kratkom spoju sa dodirom zemlje biti veće nego za tropolnih kratkih spojeva. U mrežama s kruto uzemljenom nul-tačkom može, pod izvjesnim okolnostima, struja jednopolnog zemljospoja biti do 30% veća nego

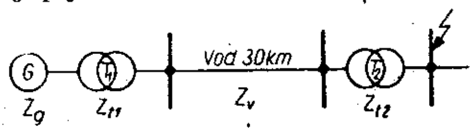
*) Uglavnom prema VDE 0102, Teil 1/9.62, Leitsätze für die Berechnung der Kurzschlußströme. Pobliže o proračunu kratkog spoja u našoj literaturi vidi: B. Stefanini, Račun kratkog spoja pomoću nomograma, Elektrotehn. vesnik 1948, br. 4-5 i 6-7. E. Höfler, Račun učina kratkog spoja u praksi, Elektrotehn. vesnik 1947, br. 10-11. Th. Buchold, Električne centrale i mreže (prijevod s njemačkog), izdanje Naučne knjige, Beograd 1949 (str. 366-384). Izračunavanje struja kratkog spoja primjenom metode simetričnih komponenata vidi npr. u priručnoj knjizi Siemens, Kurzschluss-Ströme in Drehstromnetzen, Erlangen 1956.

struja tropolnog kratkog spoja, a struja dvopolnog kratkog spoja uz dodir zemlje i do 50% veća nego struja tropolnog kratkog spoja.

b) Proračun izmjenične komponente udarne struje tropolnog kratkog spoja

$$I_k'' = \frac{1{,}1\,U}{\sqrt{3}\,Z} \qquad [\text{kA, kV, }\Omega] \text{ ili } [\text{A, V, }\Omega]$$

I_k'' - efektivna vrijednost izmjenične komponente udarne struje kratkog spoja. U - pogonski napon (linijski, tj. između 2 faze), 1,1 - faktor koji uzima u obzir povećanje suptransientne elektromotorne sile generatora prema naponu na stezaljkama generatora kao i činjenicu da je nazivni napon generatora 5% viši od nazivnog napona mreže, Z - totalni prividni otpor po fazi petlje kratkog spoja.



$$Z = Z_g + Z_{t1} + Z_v + Z_{t2}$$

(Svi otpori reducirani na napon U!)

Struja I_k'' računa se prema navedenoj formuli ovako:

Uzme se, da na mjestu kratkog spoja radi nadomjesni generator napona 1,1 U kao jedini izvor struje u mreži. Svi se elementi mreže (generatori, transformatori, prigušnice, vodovi) zamijene pripadnim prividnim otporima pa se izračuna ukupni prividni otpor Z, koji je priključen na nadomjesni generator, i pomoću njega struja I_k''. U takvoj nadomjesnoj shemi stvarni generatori smatraju se trošilima. Struje kojima oni napajaju mjesto kratkog spoja dobiju se iz Kirchhoffovih zakona kao struje koje teku u ta trošila.

Ako, međutim, u postrojenju nekog potrošača za koje se računa struja kratkog spoja rade i veći sinhroni motori, treba s njima postupati jednako kao sa generatorima. Asinhrone motore treba uzeti u obzir jedino ako su oni u redu veličine pojnih transformatora. Kod tropolnog kratkog spoja oni ni tada praktički ne utječu na isklopnu struju, već povećavaju samo udarnu struju. Kod dvopolnog i jednopolnog kratkog spoja oni utječu i na isklopnu struju i snagu.

c) Izračunavanje otpora petlje kratkog spoja

U nadomjesnom strujnom krugu svi se elementi postrojenja (generatori, transformatori, prigušnice, vodovi) nadomjeste svojim prividnim otporima koji se svedu na isti napon, na primjer na napon na mjestu kratkog spoja. Napon na koji se svode (preračunavaju) svi otpori zvat ćemo proračunski napon. Otpori se preračunavaju tako da se izračunati otpori pomnože kvadratom omjera proračunskog napona i pogonskog, odnosno nazivnog napona dotičnog elementa postrojenja. Za generatore, transformatore i prigušnice obično se ni ne računa stvarni, već odmah proračunski prividni otpor.

Generatori: Prividni otpor Z praktički je jednak suptransijentnoj uzdužnoj reaktanciji (početnoj reaktanciji) X_d'' jer djelatni otpor iznosi oko 3% suptransijentne reaktancije. Prema tome je

$$Z_g = X_d'' = \frac{x_d''\,U_p^2}{100\,P_g} \qquad [\Omega,\ \%,\ \text{kV, MVA}]$$

x_d'' - relativna suptransijentna uzdužna reaktancija (vidi 130, str. 229), U_p - proračunski napon, P_g - nazivna snaga generatora.

Transformatori:

$$Z_t = \frac{u_k U_p^2}{100 P_t}; \quad R_t = \frac{u_r U_p^2}{100 P_t}; \quad X_t = \frac{u_s U_p^2}{100 P_t} \quad [\Omega, \%, \text{kV, MVA}]$$

u_k - napon kratkog spoja (ili relativni prividni otpor transformatora), U_p - proračunski napon, P_t - nazivna snaga transformatora, u_r, u_s - relativni djelatni odn. induktivni pad napona u kratkom spoju (ili relativni djelatni otpor odn. relativna reaktancija transformatora).

Prigušnice: $$Z_p = X_p = \frac{u_p U_p}{100 \sqrt{3} I_p} \quad [\Omega, \%, \text{kV, kA}]$$

u_p - relativni pad napona u prigušnici (odnosno relativna reaktancija prigušnice), U_p - proračunski napon, I_p - nazivna struja prigušnice.

Nadzemni vodovi: Induktivne otpore vidi u 256, str. 403. Djelatni otpori mogu se (za proračun struje kratkog spoja) uzeti jednaki omskim otporima iz 199 i 202, ili se mogu upotrijebiti podaci iz 275. Za veće presjeke može se djelatni otpor zanemariti.

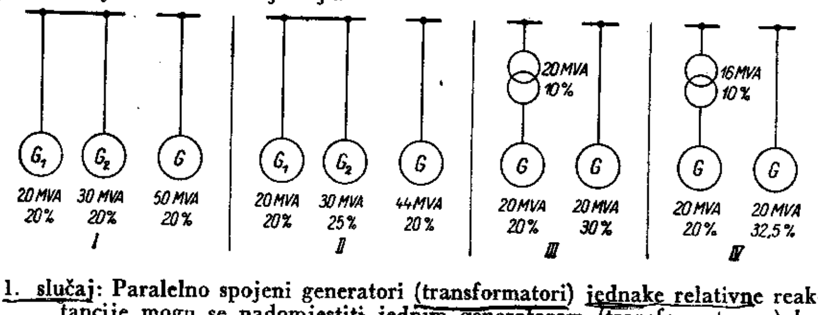
Kabeli: Djelatni i induktivni otpor kabela vidi u 275 i 279.

Za tačan račun treba s otporima računati kao s vektorima. Za približan račun primjenjuju se razna pojednostavnjenja, koja obično u praksi daju dovoljno tačne rezultate:

α) U mrežama 110 kV djelatni otpori su mali pa se mogu zanemariti. Prividni otpori uzimaju se jednakima induktivnim otporima. Ukupni tako izračunati otpor Z nešto je manji od stvarnog, pa je struja kratkog spoja izračunata pomoću njega nešto veća od stvarne. Obično se tako postupa i kad se računa kratki spoj u mrežama 35 (30) kV.

β) Za mreže 10 kV i za kabelske mreže 35 (30) kV razlike prema tačnom računanju mogle bi biti prevelike jer je utjecaj djelatnog otpora znatan. Kako su te mreže u nas redovno trakaste (neuzamčene), može se postupati tako da se izračuna ΣR i ΣX, pa se ukupni prividni otpor izračuna iz poznatog izraza $Z = \sqrt{\Sigma R^2 + \Sigma X^2}$.

Pojednostavnjenja



1. slučaj: Paralelno spojeni generatori (transformatori) jednake relativne reaktancije mogu se nadomjestiti jednim generatorom (transformatorom) kojemu je $x_g = x_{g1} = x_{g2}$, $P_g = P_{g1} + P_{g2}$.

2. slučaj: Ako je reaktancija različita, mora se snaga svih generatora preračunati za jednu reaktanciju. Reduciramo na primjer na $x_g = 20\%$

$P_{g1} = 20$ MVA, $P_{g1}' =$ . . . . 20 MVA

$P_{g2} = 30$ MVA, $P_{g2}' = 30 \cdot \frac{20}{25}$ . . . . 24 MVA

Snaga nadomjesnog generatora relat. reaktancije 20% $P_g = 44$ MVA

3. slučaj: Ako je snaga generatora i transformatora u bloku jednaka, može se takva grupa zamijeniti nadomjesnim generatorom kojemu je relativna reaktancija jednaka zbroju relativnih reaktancija generatora i transformatora.

4. slučaj: Ako snaga generatora i transformatora u bloku nije jednaka, treba relativnu reaktanciju transformtora preračunati na snagu generatora:

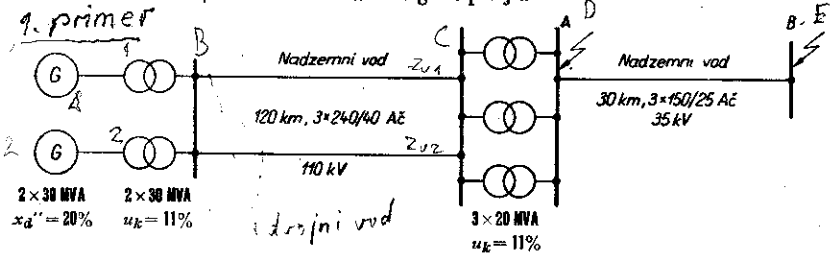
$x_g =$ 20%

$x_t' = x_t \cdot \frac{20}{16} = 10 \cdot \frac{20}{16} =$ 12,5%

Relativna reaktancija nadomjesnog generatora = 32,5%

d) Primjeri izračunavanja udarne struje kratkog spoja

1. primer



Relativne reaktancije generatora i transformatora u seriji jednake nazivne snage, mogu se zbrajati: $x_g = x_d''$; $x_t = u_k$; $x_{gt} = 20 + 11 = 31\%$.

Umjesto 2 generatora i transformatora u seriji dobili smo 2 nadomjesna generatora jednake snage (30 MVA) i reaktancije 31%. Dva generatora (ili transformatora) u paralelnom spoju jednake relativne reaktancije mogu se zamijeniti jednim nadomjesnim generatorom iste relat. reaktancije kojemu je snaga jednaka zbroju snaga paralelno spojenih generatora. Naša 2 nadomjesna generatora mogu se za proračun nadomjestiti generatorom snage 60 MVA, $x_{gt} = 31\%$.

Generatore i transformatore nadomjestimo nadomjesnim generatorom 60 MVA, $x_g = 31\%$, pa dobijemo:

$X_g = X_{g1} + X_{t1} \rightarrow$ $Z_g \sim X_g = \frac{31 \cdot 110^2}{100 \cdot 60} = 62{,}6\ \Omega$

Za nadzemni vod 110 kV dobijemo: $Z_{v1} = Z_{v2} = 0{,}37 \cdot 120 = 44{,}4\ \Omega$

Za dvojni vod: $Z_v = 44{,}4 : 2 = 22{,}2\ \Omega$

Za transformatore ($P_t = P_{t1} + P_{t2} + P_{t3} = 60$ MVA): $Z_t = \frac{11 \cdot 110^2}{100 \cdot 60} = 22{,}2\ \Omega$

Ukupni otpor do sabirnice A: $Z_A = 62{,}6 + 22{,}2 + 22{,}2 = 107{,}0\ \Omega$

Struja kratkog spoja u A: $I_k'' = \frac{1{,}1 \cdot 110}{\sqrt{3} \cdot 107{,}0} = 0{,}653$ kA $= 653$ A

Za nadzemni vod 35 kV: $Z_v = X = 0{,}38 \cdot 30 = 11{,}4\ \Omega$

Ovaj otpor treba reducirati na proračunski napon 110 kV:

$$Z_v = 11{,}4 \left(\frac{110}{35}\right)^2 = 112{,}5\ \Omega$$

Ukupni otpor do sabirnice B: $Z_B = 107{,}0 + 112{,}5 = 219{,}5\ \Omega$

Struja kratkog spoja u B reducirana na 110 kV: $I_{kr}'' = 318$ A

Stvarna struja kratkog spoja u B: $I_k'' = 318 \cdot \frac{110}{35} = 1{,}000$ kA $= 1000$ A

Za tačniji račun treba uzeti u obzir i djelatne otpore:

Za generatore: $R_g = 0$

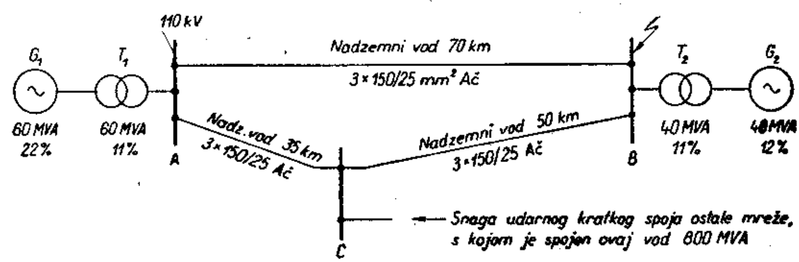
Za transformatore ($u_r = 0{,}6\%$): $R_t = \frac{0{,}6 \cdot 110^2}{100 \cdot 60} = 1{,}2\ \Omega$

Za vod: $R_v = 0{,}192 \cdot 120 = 23{,}0\ \Omega$

Odavle $R = 24{,}2\ \Omega$, $Z = \sqrt{24{,}2^2 + 107{,}0^2} = 109{,}5\ \Omega$, $I_k'' = 638$ A

Razlika je svega oko 2,3%, dakle praktički bez značenja.

2. **primjer:**

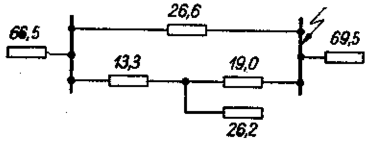


Treba izračunati struju I_k'' na sabirnici B.

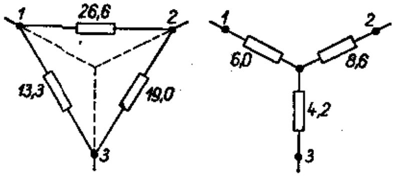
Otpore izračunamo kao u primjeru 1. Mrežu, koja je izvan gornje sheme, a spojena je na sabirnicu C te uzrokuje snagu kratkog spoja $P_k'' = 800$ MVA, treba zamijeniti ekvivalentnim prividnim otporom Z_m:

$$Z_m = \frac{U}{I_k''} = \frac{\sqrt{3}\ U^2}{P_k''} = \frac{\sqrt{3} \cdot 110^2}{800} = 26{,}2\ \Omega$$

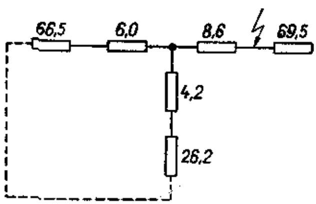
Tako dobijemo slijedeću shemu (otpori u omima po fazi):



Na mjestu kratkog spoja zamislimo da je neki generator narinuo napon 1,1 U, dok stvarne generatore smatramo trošilima.



Otpori 26,6, 13,3 i 19,0 čine trokut koji valja pretvoriti u ekvivalentnu zvijezdu otpora (vidi 34/1.14, str. 76) prema slici lijevo.



Dalje je lako ujednostavniti shemu jer se radi samo o serijskim i paralelnim otporima.

Struje kojima pojedini izvori napajaju kratki spoj na sabirnici B jesu:

Generator 1 i vanjska mreža: $I_{k1m}'' = \dfrac{1{,}1 \cdot 110}{\sqrt{3} \cdot 30} = 2{,}33 \text{ kA} = 2330 \text{ A}$

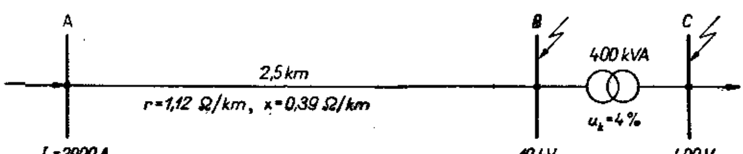
Generator 2: $I_{k2}'' = \dfrac{1{,}1 \cdot 110}{\sqrt{3} \cdot 69{,}5} = 1{,}01 \text{ kA} = 1010 \text{ A}$

Ukupna struja kratkog spoja u sabirnici B: $I_k'' = 2330 + 1010 = 3340 \text{ A}$

Mogu se izračunati i struje kojim generator 1 i vanjska mreža napajaju kratki spoj. Te su struje obrnuto razmjerne pripadnim otporima:

$$I_{k1}'' = 2330 \cdot \frac{30{,}4}{72{,}5 + 30{,}4} = 688 \text{ A}; \qquad I_{km}'' = 2330 \cdot \frac{72{,}5}{72{,}5 + 30{,}4} = 1642 \text{ A}$$

3. primjer: Treba odrediti struju kratkog spoja na sabirnici B i C nekog industrijskog postrojenja prema slijedećoj shemi:



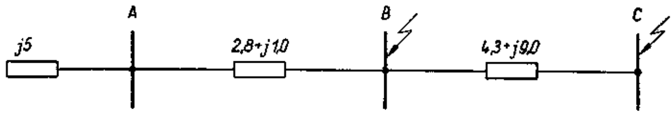
Struja kratkog spoja I_k'' na sabirnici A transformatorske stanice iz koje se napaja to postrojenje poznata je i iznosi oko 2000 A (35 MVA). Odatle se izračuna rezultantni prividni otpor mreže: $Z_m = U/I_k'' = 10\,000 : 2000 = 5\,\Omega$. Djelatni otpor transformatora uz $u_r = 1{,}7\%$ iznosi:

$$R_t = \frac{1{,}7 \cdot 10^2}{100 \cdot 0{,}4} = 4{,}3\,\Omega$$

Induktivni otpor transformatora uz $u_s = \sqrt{u_k^2 - u_r^2} = 3{,}6\,\%$ iznosi:

$$X_t = \frac{3{,}6 \cdot 10^2}{100 \cdot 0{,}4} = 9{,}0\,\Omega$$

Nadomjesna shema izgleda ovako:



Uzeto je da je otpor vanjske mreže posve induktivan, što za struju kratkog spoja daje veće (sigurnije) vrijednosti. Operator j označuje induktivni otpor. Kratki spoj na sabirnici B:

$$R = 2{,}8\,\Omega, \quad X = 5 + 1 = 6\,\Omega, \quad Z = \sqrt{2{,}8^2 + 6^2} = 6{,}6\,\Omega, \quad I_k = \frac{1{,}1 \cdot 10}{\sqrt{3} \cdot 6{,}6} =$$
$$= 0{,}96\,\text{kA} = 960\,\text{A}$$

Kratki spoj na sabirnici C (struju treba reducirati u omjeru napona):

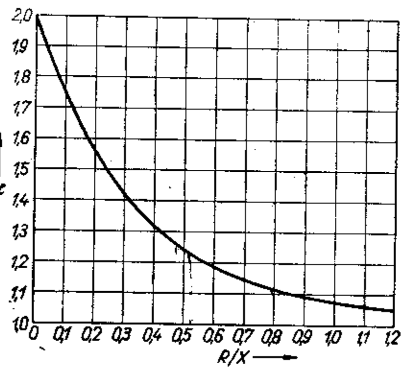
$$R = 7{,}1\,\Omega, \quad X = 15\,\Omega, \quad Z = 16{,}6\,\Omega, \quad I_k = \frac{1{,}1 \cdot 10}{\sqrt{3} \cdot 16{,}6} \cdot \frac{10}{0{,}4} = 9{,}6\,\text{kA} = 9600\,\text{A}$$

e) Udarna struja kratkog spoja I_{ku}

Najveća moguća amplituda udarne struje kratkog spoja (vidi sliku na strani 458) iznosi:

$$I_{ku} = \varkappa \sqrt{2} \cdot I_k''$$

Faktor $\varkappa$ ovisi o omjeru R/X petlje kratkog spoja, a može se uzeti iz slike desno (iz VDE 0102, 1. dio/9.62). Za generatore može se uzeti sa dovoljnom tačnošću da je $R_g = 0{,}07\,X_d$. Međutim djelatni otpor statorskog namota velikih generatora znatno je manji od $0{,}07\,X_d$.



f) Snaga kratkog spoja

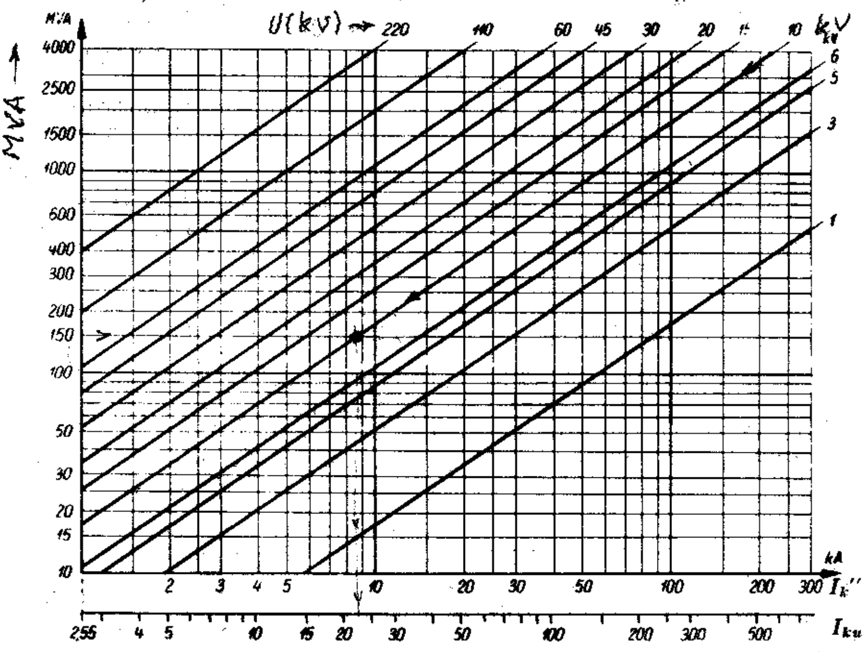
Snaga tropolnog kratkog spoja izračunava se po formuli

$$P_k'' = \sqrt{3}\, U\, I_k'' \qquad \text{[MVA, kV, kA]}$$

Po gornjoj formuli dobijemo za primjere pod d): za 1. primjer u tački A 120 MVA, u tački B 56 MVA, za 2. primjer 640 MVA, za 3. primjer u tački B 16,6 MVA, u tački C 6,6 MVA.

g) Određivanje struja I_k'' i I_{ku} iz snage kratkog spoja

Često se podaci o kratkom spoju na nekom mjestu mreže ne daju u obliku struje kratkog spoja na tom mjestu, već kao snaga u megavoltamperima. Iz snage tropolnog kratkog spoja možemo odrediti struju kratkog spoja I_k'' i udarnu struju kratkog spoja I_{ku} pomoću ovog dijagrama:



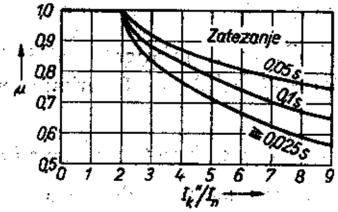
Primjer: $P_k'' = 150$ MVA, $U = 10$ kV. Iz dijagrama $I_k'' = 8{,}7$ kA, $I_{ku} = 22$ kA.

(Pomoću formula: $I_k'' = \dfrac{P_k''}{\sqrt{3}\, U} = \dfrac{150}{\sqrt{3} \cdot 10} = 8{,}7$ kA, $I_{ku} = 1{,}8\sqrt{2}\, I_k'' = 22$ kA.)

Simetrična isklopna snaga i **asimetrična isklopna snaga** mogu se izračunati po formulama (za trofazni sistem):

$$P_{sim} = \sqrt{3}\, U_n\, I_{sim} \qquad P_{as} = \sqrt{3}\, U_n\, I_{as}$$

Budući da učinske sklopke ne isklapaju momentalno, struja i snaga kratkog spoja nešto spadnu do momenta isklapanja. Simetrična (isklopna) struja i simetrična (isklopna snaga) mogu se izračunati po formulama:



$I_{sim} = \mu I_k''$, $P_{sim} = \mu P_k'' = \mu \sqrt{3}\, U_n I_k''$

Faktor μ ovisi prema slici lijevo (VDE 0102, 1. dio/9.62) o »zatezanju« i omjeru struje I_k'' i nazivne struje generatora I_n (koji je jednak omjeru P_k''/P_n).

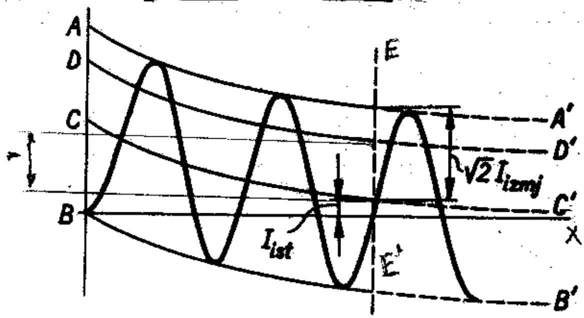
Zatezanje se za osigurače može uzeti 0 sek., za učinske sklopke s primarnim okidačima može se uzeti da je jednako nazivnom vremenu otvaranja (vidi 295, str. 495), a za učinske sklopke sa sekundarnim relejima da je jednako vlastitom vremenu releja + nazivno vrijeme otvaranja sklopke.

U mreži s nekoliko izvora energije treba μ odrediti za svaki izvor posebno. Ukupna simetrična isklopna struja jednaka je tada zbroju struja I_k'' pomnoženih s pripadnim faktorom μ: $I_{sim} = \mu_1 I_{k1}'' + \mu_2 I_{k2}'' + \cdots$

Pojedine struje I_k'' jesu struje kojima pojedini generatori (odn. elektrane) napajaju mjesto kratkog spoja, a struje I_n jesu nazivne struje tih generatora (elektrana).

b) Isklopna struja i isklopna snaga

Predvidiva isklopna struja je ona struja koja se očekuje u strujnom krugu u momentu razdvajanja kontakata (učinske sklopke). To vrijedi kako za simetričnu tako i za asimetričnu isklopnu struju.



A'A' i *BB'* — anvelope strujnog vala; *BX* — normalna nulta linija; *CC'* — pomak nulte linije strujnog vala u bilo kojem trenutku; *DD'* — efektivna vrijednost simetrične struje u bilo kojem trenutku, mjerena od linije *CC'*; *EE'* — moment razdvajanja kontakata; I_{sim} — efektivna vrijednost simetrične struje, tj. izmjenične komponente struje u momentu *EE'*; I_{ist} — istosmjerna komponenta struje u momentu *EE'*.

Simetrična isklopna struja I_{sim} efektivna je vrijednost izmjenične komponente struje kratkog spoja u momentu razdvajanja kontakata.

Asimetrična isklopna struja I_{as} ili ukupna isklopna struja je efektivna vrijednost ukupne struje kratkog spoja (istosmjerne i izmjenične komponente) u momentu razdvajanja kontakata

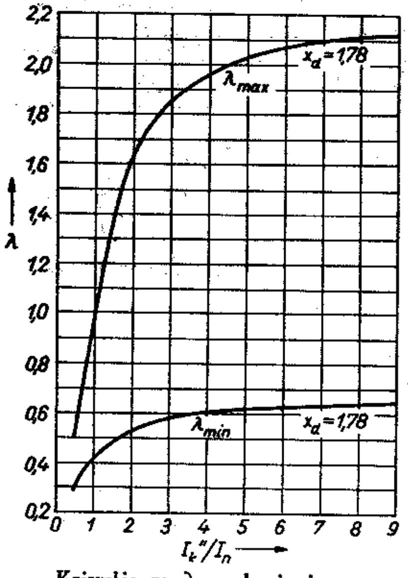
$$I_{as} = \sqrt{I_{sim}^2 + I_{ist}^2} \qquad \text{(vidi sliku)}$$

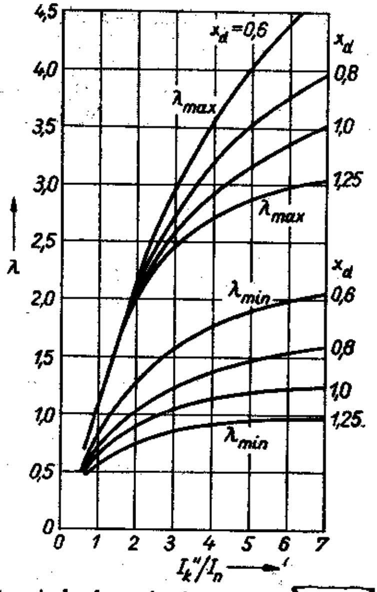
i) Trajna struja kratkog spoja I_k

Najveća trajna struja kratkog spoja nastaje kad je generator najjače uzbuđen, a najmanja kad je uzbuđen kao u praznom hodu. Obje se ove granične trajne struje kratkog spoja mogu izračunati iz formula:

$$I_{k\max} = \lambda_{\max} I_n \qquad I_{k\min} = \lambda_{\min} I_n$$

Faktori $\lambda_{\max}$ i $\lambda_{\min}$ mogu se uzeti iz dijagrama lijevo za turbogeneratore a iz dijagrama desno za generatore s istaknutim polovima (prema VDE 0102, 1. dio/9.62).





Krivulje za $\lambda_{\max}$ baziraju na pretpostavci da je najveća moguća uzbuda turbogeneratora 1,3 puta, a generatora s istaknutim polovima 1,6 puta veća od uzbude kod nazivnog opterećenja i nazivnog faktora snage. Ako najveća uzbuda odstupa do ± 20% od gornjih vrijednosti, može se $\lambda_{\max}$ korigirati u istom procentu u kojem odstupa vršni napon generatora* kod te uzbude od vršnog napona generatora kod uzbude 1,3 odn. 1,6 puta veće od uzbude kod nazivnog opterećenja i nazivnog faktora snage.

Općenito, ako je kratki spoj razmjerno blizu generatora, I_k znatno je manja od I_k''. Što je kratki spoj dalje od generatora (tj. što reaktancija generatora manje utječe na ukupni otpor petlje kratkog spoja), to se više vrijednost I_k približava vrijednosti I_k''. Za kratke spojeve daleko u mreži može se uzeti da su te dvije struje približno jednake.

Trajna struja dvopolnog kratkog spoja na stezaljkama generatora je oko 50% veća nego tropolnog, no sa udaljavanjem od generatora trajna struja dvopolnog kratkog spoja smanjuje se naglije nego kod tropolnog. Dalje u mreži trajna struja dvopolnog kratkog spoja manja je nego kod tropolnog.

* Vršni napon generatora = napon koji nastaje na stezaljkama generatora kad je ovaj najjače uzbuđen.

288 Mehaničko djelovanje struje kratkog spoja na vodiče rasklopnih postrojenja i potporne izolatore*

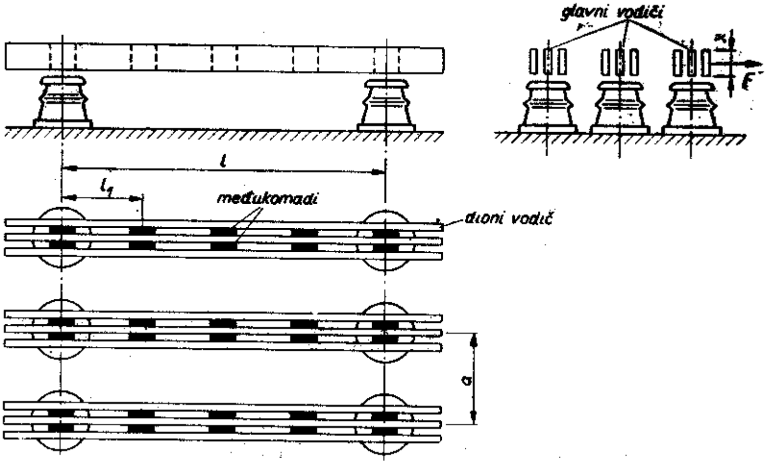
1. Općenito

Kad ne bi bilo rezonancije, dva bi paralelna vodiča kojima teče struja I_{ku} djelovala jedan na drugi silom (vidi 34/1.25, str. 78):

$$F = 2{,}04 \cdot 10^{-2} I^2_{ku} \frac{l}{a} \qquad [\text{kp, kA, cm, cm}]$$

l - razmak potporišta, a - međusobni razmak osi vodiča, I_{ku} - amplituda udarne struje kratkog spoja (vidi sliku na strani 458 i 287, tačka e, str. 464).

Gornja formula vrijedi međutim samo za konstantnu istosmjernu struju i za jednostavne vodiče, tj. takve koji nisu sastavljeni od snopa nekoliko paralelnih dionih vodiča. Na slici dolje prikazani su vodiči rasklopnog postro-



jenja u snopu. Snop vodiča jedne faze zvat ćemo glavni vodič, a on se sastoji od nekoliko dionih vodiča (na slici: 3 diona vodiča, $n = 3$) koji su međusobno učvršćeni umecima (na slici po 3 umetka između svaka dva diona vodiča od jednog do drugog potporišta).

2. Naprezanje vodiča

Naprezanje vodiča sastoji se od σ_g koje uzrokuje sila između glavnih vodiča i naprezanja σ_d koje uzrokuje sila između dionih vodiča. Prema VDE 0103/1.61 za sastavljene vodiče (snop vodiča) vrijedi:

$$\sigma_g + \sigma_d \leqq 2\sigma_{0,2} \quad \text{i} \quad \sigma_d \leqq \sigma_{0,2}$$

Prema tome za jednostavne vodiče vrijedi:

$$\sigma_g \leqq 2\sigma_{0,2}$$

Propisi VDE toleriraju da u najnepovoljnijem slučaju dođe do male trajne deformacije vodiča.

* Vidi VDE 0103/1.61: »Smjernice za dimenzioniranje postrojenja jake struje s obzirom na mehaničku i električku čvrstoću prema kratkom spoju«.

Prema DIN 40500 odnosno DIN 40501 $\sigma_{0,2}$ za bakrene i aluminijske vodiče iznosi:

Materijal	Vrst materijala	$\sigma_{0,2}$ kp/cm²	σ_p (prekidna čvrstoća) kp/cm²
Bakar	E Cu F 20 DIN 40500 E Cu F 25 DIN 40500 E Cu F 30 DIN 40500 E Cu F 37 DIN 40500	1400 do 1600 1700 do 2000 2200 do 2500 2800 do 3200	2000 do 2500 2500 do 3000 3000 do 3700 3700 do 4500
Aluminij	E Al F 9 DIN 40501 E Al F 13 DIN 40501	500 do 700 1300 do 1700	900 do 1300 1300 do 1700

Ako ne raspolažemo sa podacima proizvođača o $\sigma_{0,2}$ ili σ_p niti o vrsti materijala, treba računati sa

$$\sigma_{0,2} = \begin{array}{l} 1400 \text{ kp/cm}^2 \text{ za bakar} \\ 500 \text{ kp/cm}^2 \text{ za aluminij} \end{array}$$

Pojedina naprezanja σ_g i σ_d mogu se izračunati iz ovih formula (prema VDE 0103/1.61):

Veličina	Formula
Sila između glavnih vodiča zbog struje kratkog spoja	$F_g = 2{,}04 \cdot 10^{-2} I_{ku}^2 \cdot \dfrac{l}{a}$
Naprezanje zbog F_g	$\sigma_g = v_\sigma \cdot \dfrac{F_g\, l}{12\, W} = v_\sigma \cdot \dfrac{1{,}7 \cdot 10^{-3} I_{ku}^2\, l^2}{a\, W}$
Sila između dionih vodiča zbog struje kratkog spoja	$F_d = 2{,}04 \cdot 10^{-2} (I_{ku}/n)^2 \cdot \dfrac{l_d}{a_d}$
Naprezanje zbog F_d	$\sigma_d = v_\sigma \cdot \dfrac{F_d\, l_d}{12\, W_d} = v_\sigma \cdot \dfrac{1{,}7 \cdot 10^{-3} I_{ku}^2\, l_d^2}{a_d\, n^2\, W_d}$

l - razmak potporišta, $l_d = l_1$ - razmak između potporišta i najbližeg umetka (vidi sliku na prethodnoj strani), a - međusobni razmak osi glavnih vodiča (vidi sliku), a_d - djelotvorni razmak dionih vodiča prema tablici na narednoj strani, I_{ku} - aplituda udarne struje kratkog spoja, W - moment otpora glavnog vodiča (računat prema uputama niže), W_d - moment otpora dionog vodiča, n - broj dionih vodiča, v_σ - frekventni faktor za vodiče.

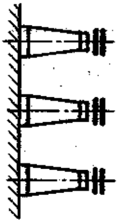
Najveća naprezanja vodiča dobiju se

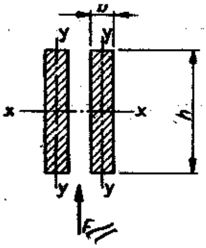
— u postrojenjima izmjenične i trofazne struje za $v_\sigma = 1$

— u postrojenjima istosmjerne struje za $v_\sigma = 2$

Obično se računa s tim vrijednostima. Tačniji račun prema VDE 0103/1.61 može dati i manje vrijednosti.

Momenti otpora snopa vodiča

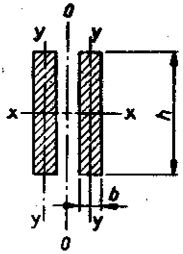




Ako su vodiči sastavljeni prema slici lijevo gore tako da sila na njih djeluje u smjeru njihove visine, vrijedi:

$$W_d = bh^2/6, \quad W = nW_d$$

(Oznake vidi na prethodnoj strani.)
Ako su vodiči sastavljeni prema slici na strani 468 odnosno prema slici lijevo dolje tako da sila na njih djeluje u smjeru njihove debljine, a umetaka nema ili ih je najviše 1, tada vrijedi:



$$W_d = b^2h/6, \quad W = nW_d$$

Ako između dva potporna izolatora ima 2 ili više umetaka (npr. 3, kao na slici na strani 468), pa su vodiči prema tome međusobno ukrućeni, tada se može računati da moment otpora glavnog vodiča iznosi 60% momenta otpora izračunatog s obzirom na os 0—0 ako su vodiči sastavljeni od šinja, a 50% ako su sastavljeni od profila. Momenti otpora dionih vodiča jednaki su dakako kao i prije ($b^2h/6$).

Djelotvorni razmak dionih vodiča a_d

Raspored dionih vodiča	Debljina d šinje cm	Širina b šinje							
		4 cm	5 cm	6 cm	8 cm	10 cm	12 cm	16 cm	20 cm
II	0,5	2,0	2,4	2,7	3,3	4,0	—	—	—
	1	2,8	3,1	3,4	4,1	4,7	5,4	6,7	8,0
III	0,5	—	1,3	1,5	1,8	2,2	—	—	—
	1	1,7	1,9	2,0	2,3	2,7	3,0	3,7	4,3
II II	0,5	—	1,4	1,5	1,8	2,0	—	—	—
	1	1,74	1,8	2,0	2,2	2,5	2,7	3,2	—
[ ]	—	Veličina profila (mjera b u cm)							
		[6	[8	[10	[12	[14	[16	[18	[20
	$a_d^* =$	7,9	9,4	10	12	14	16	18	20

* Navedene vrijednosti za a_d vrijede za [6 ako je $h = 8,5$ za [8 ako je $h = 10$ cm, a za profile [10 do [20 ako je $b = h$.

3. Opterećenje potpornih izolatora

Računa se prema formuli

$$F_i = v_F F_g < F_p$$

gdje je F_i - najveća sila koja djeluje na potporne izolatore, v_f - frekventni faktor za potporne izolatore, F_g - sila između glavnih vodiča zbog struje kratkog spoja (koja se izračuna prema formuli u tablici na strani 469), a F_p - prelomna sila potpornih izolatora, koja ovisi o vrsti upotrebljenih potpornih izolatora i o hvatištu sile F_i. Podatke za F_p vidi niže. Najveća moguća naprezanja potpornih izolatora dobiju se ako se računa:

a) U postrojenjima izmjenične i trofazne struje

$$\text{za } \sigma_g + \sigma_d \geqq 0{,}8\, \sigma_{0,2} \qquad v_F = 1$$

$$\text{za } \sigma_g + \sigma_d < 0{,}8\, \sigma_{0,2} \qquad v_F = \frac{0{,}8\, \sigma_{0,2}}{\sigma_g + \sigma_d}$$

(σ_g - naprezanje zbog F_g, σ_d - naprezanje zbog F_d, vidi tablicu na strani 469)

b) U postrojenjima istosmjerne struje

$$v_F = 2$$

Obično se računa sa gornjim vrijednostima za v_F. Tačniji račun prema VDE 0103/1.61 može dati i manje vrijednosti. Do većih vrijednosti ne može doći ni zbog rezonancije jer iznad otprilike 80% od $\sigma_{0,2}$ dolazi do plastičnih deformacija materijala koje mijenjaju vlastitu frekvenciju vodiča, pa do rezonancije ne može doći. Osim toga prigušenje je jako.

Prelomna sila potpornih izolatora SA, SB i SC navedena je u ovoj tablici:

Potporni izolatori	Prelomna sila F_p u kilopondima u ovisnosti o udaljenosti x mm pravca u kojem djeluje sila od gornjeg brida potpornog izolatora							
	0*	10 mm	20 mm	30 mm	40 mm	60 mm	80 mm	100 mm
SA 1 do 10	375	315	255	210	180	135	110	95
SA 20 i 30		365	350	340	280	220	185	160
SB 1 i 3	750	680	560	475	400	320	260	220
SB 6 i 10		715	625	530	470	370	300	260
SB 20 i 30		725	700	690	640	500	430	375
SC 1 do 30	1250	1175	980	840	730	580	470	430

* U ovom stupcu navedena je nazivna prelomna sila potpornih izolatora (vidi stranu 488).

4. Primjer

Aluminijske šinje za vezu između trofaznog generatora 42 MVA, 10 kV, i transformatora u blok-spoju: Udarna struja kratkog spoja oko 50 kA, razmak između osi susjednih faznih vodiča $a = 40$ cm. Uzeti su vodiči od po 2 plosnate šinje 100 × 10 Al.

a) Raspored vodiča prema slici na strani 468

Uzmimo $l = 250$ cm i 3 umetka.

$$v_\sigma = 1, \quad I_{ku} = 50\,\text{kA}, \quad W = (3^3 \cdot 10/6 - 1^3 \cdot 10/6) \cdot 0{,}6 = 8\ \text{cm}^3$$

$$\sigma_g = v_\sigma \cdot \frac{1{,}7 \cdot 10^{-3} I_{ku}^2 l^2}{aW} = 1 \cdot \frac{1{,}7 \cdot 10^{-3} \cdot 50^2 \cdot 250}{40 \cdot 8} = 827\ \text{kp/cm}^2$$

$$l_d = 250 : 4 = 62{,}5\ \text{cm}, \quad a_d = 4{,}7\ \text{cm}, \quad n = 2, \quad W_d = 1^3 \cdot 10/6 = 1{,}67\ \text{cm}^3$$

$$\sigma_d = v_\sigma \cdot \frac{1{,}7 \cdot 10^{-3} I_{ku}^2 l_d}{a_d n^2 W_d} = \frac{1{,}7 \cdot 10^{-3} \cdot 50^2 \cdot 62{,}5^2}{4{,}7 \cdot 2^2 \cdot 1{,}6} = 260\ \text{kp/cm}^2$$

$$\sigma_g = \sigma_d = 827 + 260 = 1087\ \text{kp/cm}^2 > 2 \cdot 500\ \text{kp/cm}^2$$

dakle nešto više nego je dozvoljeno. Ako razmak potporišta smanjimo na $l = 240$ cm, smanji se najveće ukupno naprezanje na 1004 kp/cm², a za $l = 230$ cm na 921 kp/cm².

$$F_i = v_F F_g = 1 \cdot 2{,}04 \cdot 10^{-3}\ I_{ku}\ l/a = 1 \cdot 2{,}04 \cdot 10^{-3} \cdot 50^2 \cdot 230/40 = 293\ \text{kp/cm}^2$$

Razmak x hvatišta sile iznosit će najviše 10 cm, pa prema tome možemo uzeti izolatore tipa SA (vidi tablicu na strani 478).

b) Raspored vodiča prema slici na strani 470 gore

Momenti otpora su sada mnogo veći i iznose: $W_d = 1 \cdot 10^2/6 = 16{,}7$ cm³, $W = 2W_d = 33{,}3$ cm³. Prema tome naprezanje vodiča je svakako u granicama **dozvoljenog.**

289 Odabiranje strujnih mjernih transformatora s obzirom na kratki spoj

a) Termička opteretivost strujom kratkog spoja

Garantirana termička granična struja strujnog transformatora mora zadovoljiti uvjet:

$$I_t \geq I_{ef} \cdot \sqrt{t}$$

I_{ef} - efektivna srednja vrijednost struje kratkog spoja na mjestu ugradnje strujnog transformatora od početka kratkog spoja do prekida (određivanje vidi na strani 475), tj. za vrijeme t (t - trajanje kratkog spoja).

Termička granična struja strujnih transformatora »Končar« iznosi 90 do 100 I_n. Ako termička granična struja nekog strujnog transformatora za neki slučaj nije dovoljna, tada treba naručiti transformator veće nazivne struje (smanjuje se tačnost mjerenja), ili naručiti transformator s povećanom termičkom graničnom strujom (npr. 200 I_n) (što nije uvijek moguće), ili udesiti zaštitne releje tako da se skrati trajanje kratkog spoja ili smanjiti struju kratkog spoja ugradnjom prigušnica.

Ako je poznat presjek S primarnog namota strujnog transformatora, može se termička granična struja izračunati po formuli

Za Cu: $I_t = 180\ S/1000$; za Al: $I_t = 118\ S/1000$ [kA, mm²]

b) **Mehanička čvrstoća strujnih transformatora**

Garantirana dinamička granična struja strujnog transformatora mora zadovoljiti uvjet:

$$I_d \geqq I_{uk} \qquad \text{(To su uvijek trenutne vrijednosti!)}$$

I_{uk} - amplituda udarne struje kratkog spoja na mjestu ugradnje strujnog transformatora. Ako je poznata snaga kratkog spoja, može se udarna struja izračunati pomoću dijagrama na strani 465.

Kod štapnih strujnih transformatora gornji je uvjet praktički uvijek zadovoljen. Kod ostalih strujnih transformatora »Končar«, dinamička granična struja iznosi

$$I_d = 2{,}5\, I_t$$

Ako je dinamička granična struja nekog strujnog transformatora za određeni slučaj premala, tada treba postupiti analogno onome kako je navedeno pod a (samo što ovdje skraćenje trajanja kratkog spoja ne utječe).

Opteretivost vodiča strujom kratkog spoja **290**

1. Općenito

Ugrijavanje vodiča u kratkom spoju tako je brzo da se za vrijeme kratkog spoja vodič praktički nimalo ne hladi. Ugrijanje je prema tome razmjerno toplini koja se stvara u vodiču za vrijeme kratkog spoja te o toplinskom kapacitetu vodiča, a neovisno o načinu izolacije i montaže vodiča.

Sasvim općenito (za gole vodiče, izolirane vodiče, kabele i aparate — za bilo koji presjek i oblik vodiča) vrijedi:

$$S = 1000\, I_{ef} \sqrt{\frac{\rho t}{4{,}18\,(\vartheta_2 - \vartheta_1)\,\gamma c}} = a\, I_{ef} \sqrt{\frac{\rho t}{\Delta\vartheta}} \qquad \left(a = \frac{1000}{\sqrt{4{,}18\,\gamma c}}\right)$$

gdje je S — potreban presjek vodiča [mm²], I_{ef} — efektivna srednja vrijednost struje kratkog spoja [kA] (vidi upute na strani 475), ρ — srednji specifični otpor materijala vodiča u temperaturnom području ϑ_1 do ϑ_2 [Ωmm²/m], t — trajanje kratkog spoja[1] [s], ϑ_2 — najviša dozvoljena temperatura vodiča u kratkom spoju [°C], ϑ_1 — temperatura vodiča od predopterećenja, $\vartheta_2 - \vartheta_1$ ugrijanje vodiča za vrijeme kratkog spoja, γ specifična masa materijala vodiča [kg/dm³], c — specifična toplina materijala vodiča [kcal/kg · step].

Spec. otpor ρ za početnu i krajnju temperaturu kratkog spoja izračuna se iz formule (vidi 34/1.3, str. 74).

$$\rho_t = \rho_h\,(1 + \alpha \cdot \Delta\vartheta)$$

Za razne materijale koeficijent a iznosi:

Materijal	bakar	aluminij	aldrej	alučel
Koeficijent a	535	620	620	620

[1]) Ako se ponovo uklapa na kratki spoj (npr. kad se upotrebljavaju sklopke za brzo ponovno uklapanje), treba vrijeme t podvostručiti.

2. Najviša dozvoljena temperatura kod kratkog spoja ϑ_2 i temperatura od predopterećenja ϑ_1 za pojedine dijelove postrojenja

a) Za nadzemne vodove. Krajnja temperatura ϑ_2 ograničena je time da tvrde žice od kojih se uže sastoji ne smiju ništa izgubiti od svoje čvrstoće. Temperature pri kojima tvrde žice ne gube još ništa na svojoj čvrstoći jesu*

$\vartheta_2 = 170^0$ C bakar, 130^0 C aluminij, 155^0 C aldrej, 130^0 C alučel

Početna temperatura ϑ_1 ovisi o opterećenju i temperaturi okoline prije kratkog spoja. Uzima se da je ona jednaka najvišoj dopuštenoj temperaturi opterećenog vodiča, tj. najviše 80^0 C. Međutim, ako vodič nije 100% opterećen prema tablici 200 na strani 331, početna temperatura ϑ_1 znatno je niža, kako to pokazuje ovaj pregled**:

Maksimalno opterećenje vodiča	100%	71%	50%	35%
Temperatura vodiča ϑ_1	80° C	60° C	50° C	45° C

b) Za kabele. Krajnja temperatura ϑ_2 nije utvrđena jugoslavenskim propisima i različito se uzima. Početna temperatura ϑ_1 ovisi o opterećenju kabela i temperaturi okoline, a ne smije prijeći vrijednosti iz tablice 271d, strana 429***. Početna i krajnja temperatura prikazane su u ovom pregledu:

	ϑ_1 °C	ϑ_2 °C prema FKS[1])	ϑ_2 °C prema VDE[1])
Kabeli do 3 kV	65	160	160
Kabeli 6 kV	65	120	160
Kabeli 10 i 20 kV	55	120	140
Kabeli 30 i 35 kV	45	100	120

3. Dozvoljena gustoća struje kratkog spoja (I_{ef}/S)

za trajanje kratkog spoja $t = 1$ s i različita ugrijanja

Materijal vodiča	Dozvoljena gustoća struje kratkog spoja u A/mm² za $\Delta\vartheta$ = 60°	80°	100°	120°	140°	150°	160°	180°	200°	230°
Bakar	99	113	125	135	144	148	152	159	166	175
Aluminij	66	75	83	89	95	98	100	105	109	115
Aldrej	63	72	79	85	91	94				
Alučel 6:1	69	78	86	93	99	102				
,, 4,3:1	69	78	86	93	99	102				
,, 3:1	70	80	88	95	101	104				

Primjedba: Tablica je izračunata za temperaturu $\vartheta_1 = 50^0$ C, ali vrijedi dovoljno približno i za druge prilike. Ona vrijedi dovoljno približno za gole i izolirane vodiče i za kabele — za bilo koji presjek i oblik vodiča. Za alučelična užeta gustoća struje se odnosi samo na aluminijski dio.

Za t različito od 1 s treba vrijednosti u tablici pomnožiti s $1/\sqrt{t}$ odnosno

za t=	0,1	0,2	0,5	0,75	1	1,5	2	2,5	3	4	5	6	s
s faktorom	3,16	2,24	1,41	1,15	1	0,82	0,71	0,63	0,58	0,5	0,45	0,41	—

* Prema Behrens, Meyer, Nefzger: Aluminijski nadzemni vodovi, Tehnička knjiga, Zagreb 1959.

** Uz pretpostavku temperature okoline 40° C.

*** Za uljne i tlačne kabele vidi 273a, str. 433.

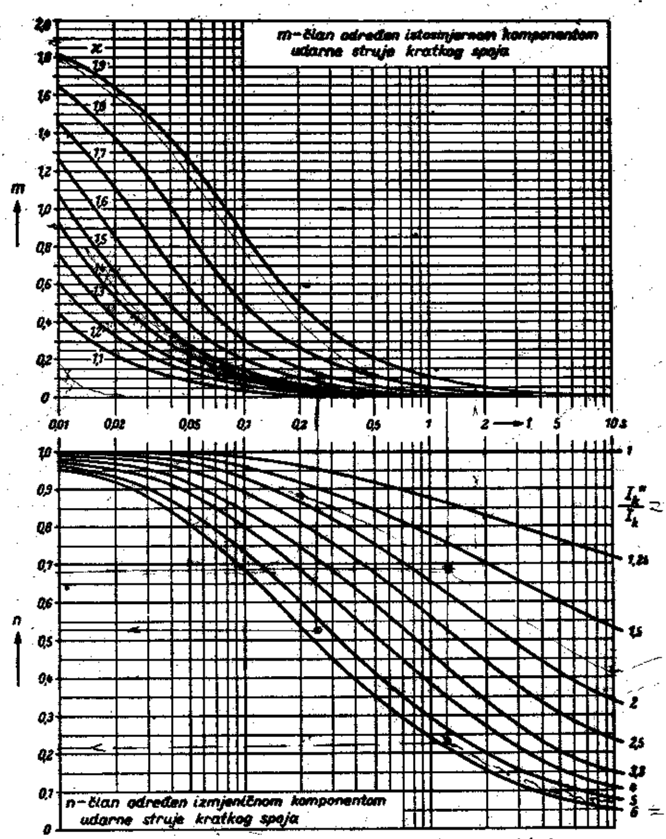
1) FKS — Fabrika kablova Svetozarevo, VDE — VDE 0103/1.61, tablica 5.

4. Efektivna srednja vrijednost struje kratkog spoja

Za termičko naprezanje vodiča, strojeva i aparata kod kratkog spoja mjerodavna je efektivna srednja vrijednost struje za sve vrijeme trajanja kratkog spoja. Ova se efektivna srednja vrijednost struje kratkog spoja može odrediti iz formule:

$$I_{ef} = I_k'' \sqrt{m^2 + n^2}$$

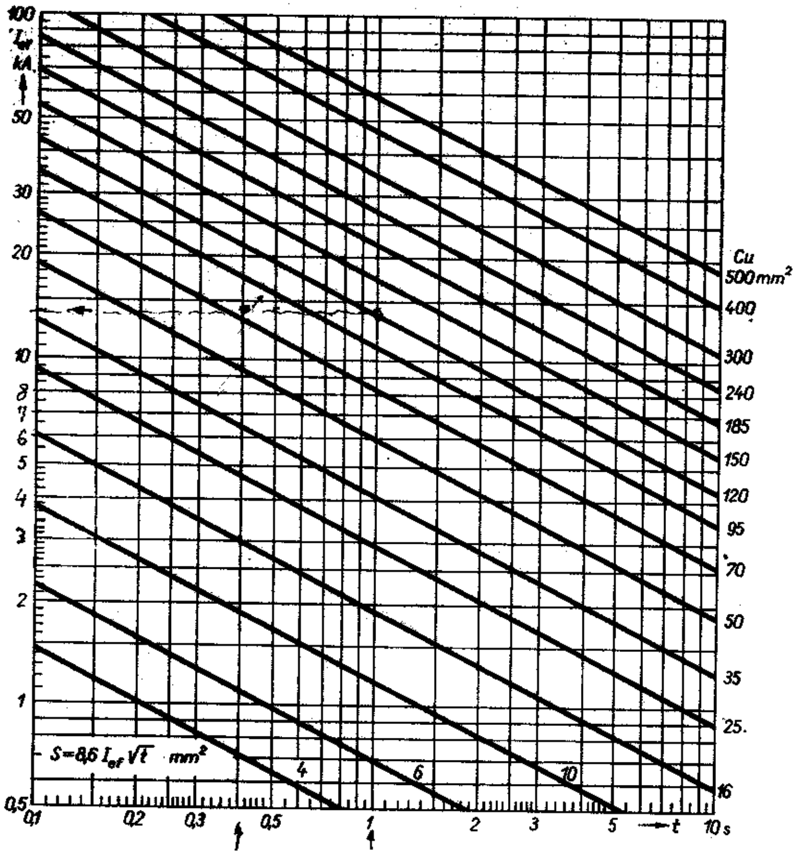
I_k'' - izmjenična komponenta udarne struje kratkog spoja, m - član određen istosmjernom komponentom udarne struje kratkog spoja, n - član određen izmjeničnom komponentom udarne struje kratkog spoja. Vrijednosti za m i n u ovisnosti o trajanju kratkog spoja t mogu se uzeti iz dijagrama dolje* (x - vidi stranu 464, I_k - strana 467).



Primjer: $I_{ku} = 50$ kA, $I_k'' = 24$ kA, $I_k''/I_k = 1{,}85$; iz dijagrama: $m = 0$, $n = 0{,}68$. Izračunamo: $I_{ef} = 16{,}4$ kA.

* Iz knjige: Siemens, Formel- und Tabellenbuch für Starkstrom-Ingenieure. Vidi i VDE 0103/1.61.

5. Opteretivost kabela do 3 kV strujom kratkog spoja



Dijagram vrijedi za bakrene kabele do 3 kV i ugrijanje 95° C.

Struja u dijagramu je efektivna srednja vrijednost struje kratkog spoja (vidi stranu 475).

Dijagram je izračunat pomoću formule u 290, str. 473:

$$I_{ef} = \frac{S}{a}\sqrt{\frac{\Delta\vartheta}{\rho t}}$$

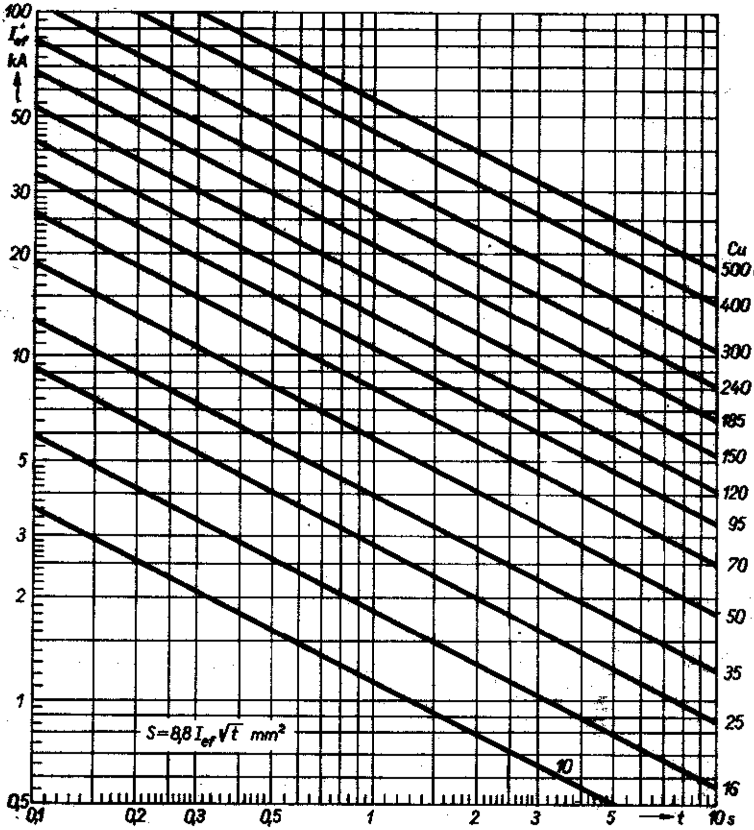
gdje je $\Delta\vartheta = \vartheta_2 - \vartheta_1 = 160 - 65 = 95^0$ C

Za aluminijske kabele opteretivost iz dijagrama pomnoži sa 0,68.

Primjeri: a) Koliko je opteretiv strujom kratkog spoja kabel 1 kV, 3 × 120 mm² Cu ako kratki spoj traje 1 sekundu? — I_{ef} = 14 kA.

b) Koliki mora biti presjek Al-kabela, da kroz 0,4 sekunde može podnijeti struju I_{ef} = 10 kA? — I_{ef} = 10 : 0,68 = 14,7 kA. Iz dijagrama S = 95 mm².

6. Opteretivost kabela 6 i 10 kV strujom kratkog spoja



Dijagram vrijedi za bakrene kabele 6 i 10 kV i ugrijanje 85° C.

Struja u dijagramu je efektivna srednja vrijednost struje kratkog spoja (vidi stranu 475).

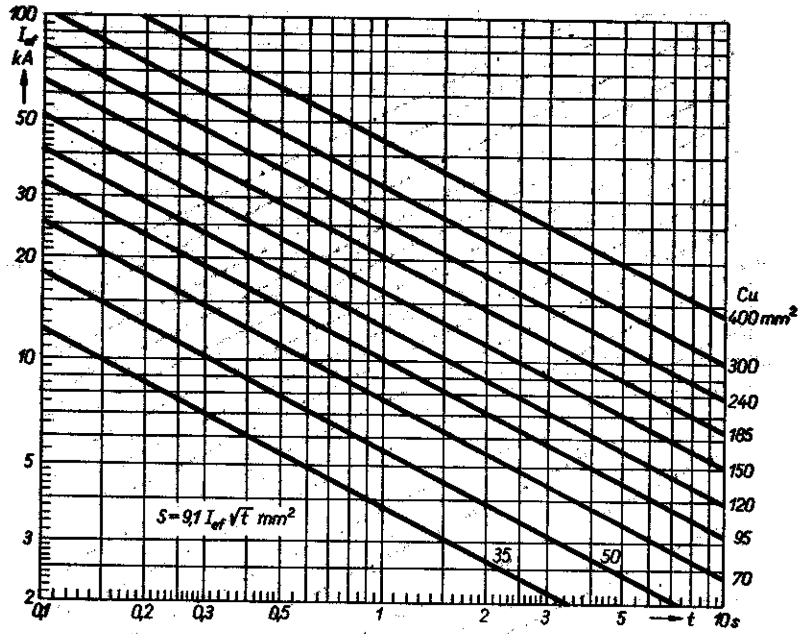
Dijagram je izračunat prema jednakoj formuli kao i dijagram na prethodnoj strani, ali je ugrijanje $\Delta\vartheta = \vartheta_2 - \vartheta_1 = 140 - 55 = 85^0$ C, tj. računato je sa vrijednostima koje daje VDE 0103/1.61*.

Za aluminijske kabele opteretivost iz dijagrama pomnoži sa 0,68.

Ako bi se uzelo, kao što to radi Fabrika kablova Svetozarevo, da krajnja temperatura kratkog spoja ne smije prijeći 120° C, tada opteretivost iz dijagrama treba pomnožiti sa 0,88 za bakrene kabele, a sa 0,60 za aluminijske kabele.

* U priručniku Siemens, Formel- und Tabellenbuch für Starkstrom-Ingenieure kao i u priručniku Siemens, Kabel und Leitungen für Starkstrom računa se za kabele do 6 kV sa dopustivom krajnjom temperaturom kratkog spoja od 160° C.

7. Opteretivost kabela 30 i 35 kV strujom kratkog spoja



Dijagram vrijedi za bakrene kabele 30 i 35 kV i ugrijanje 75° C

Struja u dijagramu je efektivna srednja vrijednost struje kratkog spoja (vidi stranu 475).

Dijagram je izračunat prema jednakoj formuli kao i dijagram na strani 476, ali je ugrijanje $\Delta\vartheta = \vartheta_2 - \vartheta_1 = 120 - 45 = 75^0$ C, tj. računato je sa vrijednostima koje daje VDE 0103/1.61.

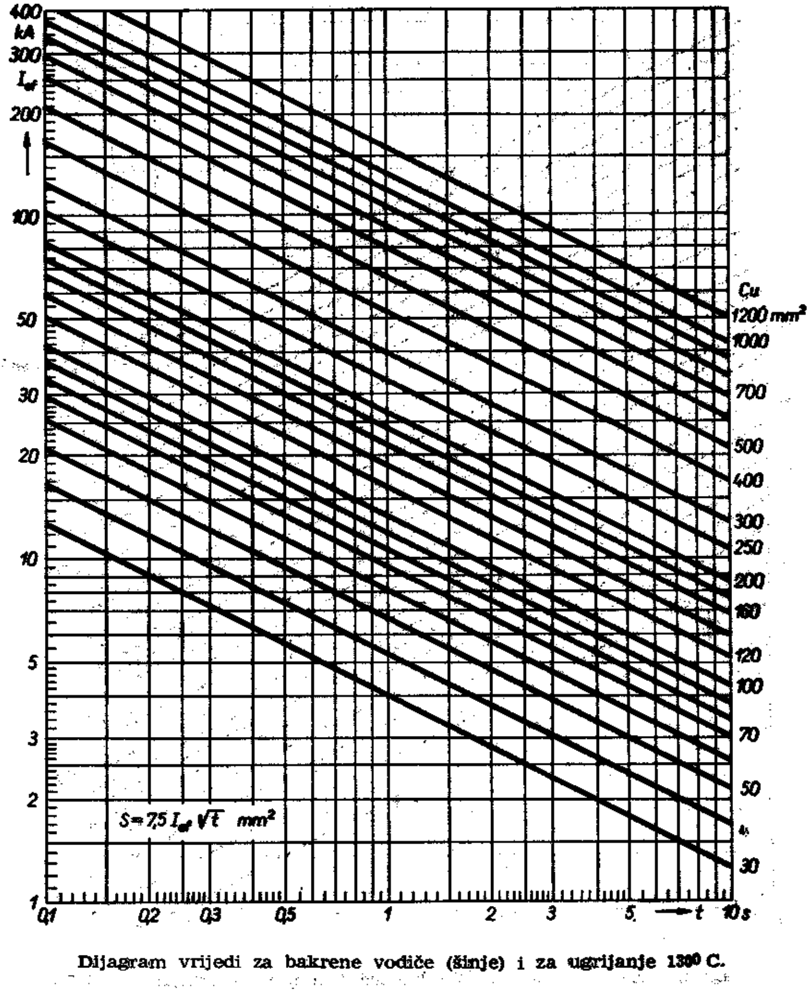
Za aluminijske kabele opteretivost iz dijagrama pomnoži sa 0,68.

Ako bi se uzelo, kao što to radi Fabrika kablova Svetozarevo, da krajnja temperatura kratkog spoja ne smije prijeći 100^0 C, tada opteretivost iz dijagrama treba pomnožiti sa 0,86 za bakrene kabele, a sa 0,59 za aluminijske kabele.

8. Opteretivost uljnih i tlačnih kabela 110 i 220 kV strujom kratkog spoja

Kako je navedeno u 273a), uljni i tlačni kabeli mogu se jače opteretiti nego obični kabeli s masom. To isto vrijedi i za kratki spoj. Krajnja temperatura kratkog spoja može se uzeti $\vartheta_2 = 170^0$ C, a odatle proizlazi $\Delta\vartheta = \vartheta_2 - \vartheta_1 = 170 - 70 = 100^0$ C. Prema tome za jako opterećene uljne i tlačne kabele može se upotrijebiti dijagram na strani 476, a za slabo opterećene kabele opteretivost strujom kratkog spoja još je veća i može se izračunati pomoću formule na strani 473.

9. Opteretivost bakrenih vodiča za rasklopna postrojenja strujom kratkog spoja



Dijagram vrijedi za bakrene vodiče (šinje) i za ugrijanje 130° C.

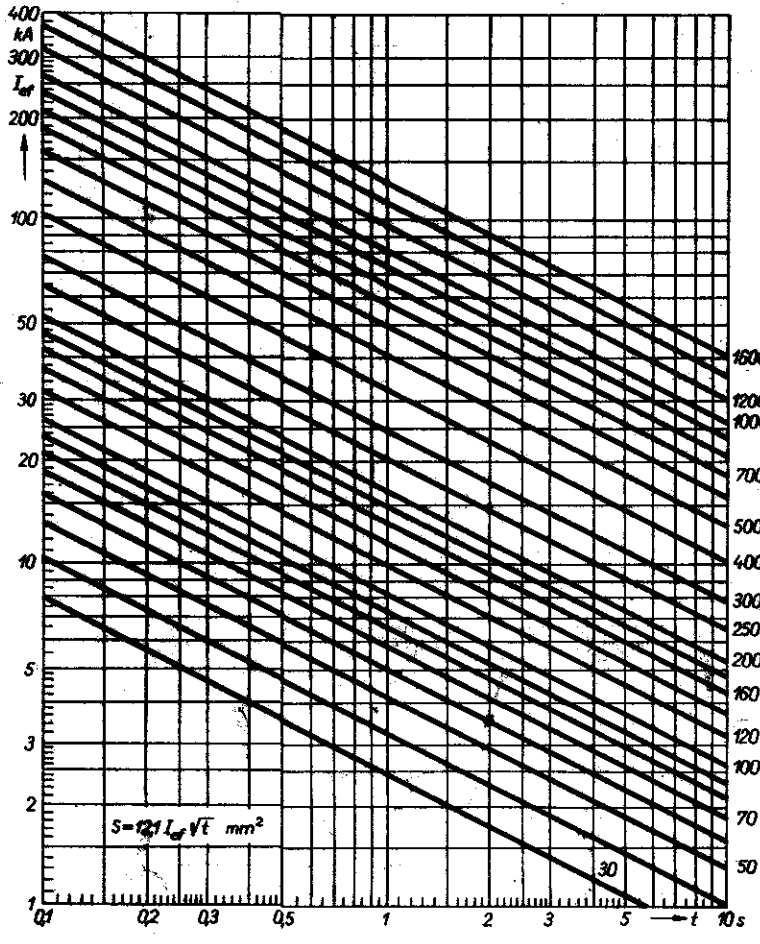
Struja u dijagramu je efektivna srednja vrijednost struje kratkog spoja (vidi stranu 475).

Dijagram je izračunat prema jednakoj formuli kao i dijagram na strani 476, ali je ugrijanje $\Delta\vartheta = \vartheta_2 - \vartheta_1 = 200 - 70 = 130^0$ C (prema VDE 0103/1.61). Prema nekima* dopuštena je krajnja temperatura kratkog spoja čak do 300^0 C. Prema tome vrijednosti u gornjem dijagramu vrlo su sigurne.

---

* Vidi npr. Siemens, Formel- und Tabellenbuch für Starkstrom-Ingenieure, 1. izdanje. (U 2. izdanju također se računa sa 200^0 C.)

10. Opteretivost aluminijskih vodiča za rasklopna postrojenja strujom kratkog spoja



Dijagram vrijedi za aluminijske vodiče (šinje) i za ugrijanje 110⁰ C.

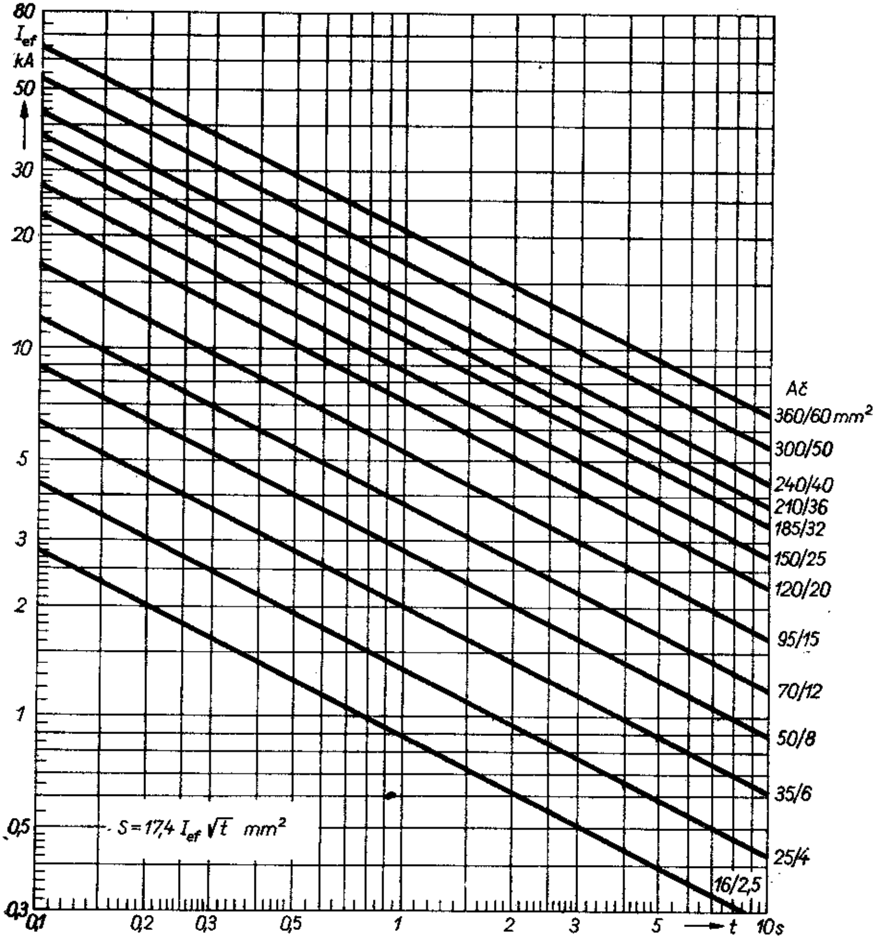
Struja u dijagramu je efektivna srednja vrijednost struje kratkog spoja (vidi stranu 475).

Dijagram je izračunat prema jednakoj formuli kao i dijagram na strani 476, ali je ugrijanje $\Delta\vartheta = \vartheta_2 - \vartheta_1 = 180 - 70 = 110^0$ C (prema VDE 0103/1.61). Prema nekima* dopuštena je krajnja temperatura kratkog spoja čak do 250^0 C. Prema tome vrijednosti u gornjem dijagramu vrlo su sigurne.

---

* Vidi npr. Siemens, Formel- und Tabellenbuch für Starkstrom-Ingenieure, 1. izdanje. (U 2. izdanju također se računa sa 180^0 C.)

11. Opteretivost užeta nadzemnih vodova strujom kratkog spoja



Dijagram vrijedi za alučelična užeta* prenosnog omjera 6:1 i ugrijanje 50⁰ C.

Struja u dijagramu je efektivna srednja vrijednost struje kratkog spoja (vidi 290, str. 475). Dijagram je računat prema jednakoj formuli kao i dijagram na strani 476, ali je ugrijanje $\Delta\vartheta = \vartheta_2 - \vartheta_1 = 130 - 80 = 50^0$ C. Ako je temperatura vodiča od opterećenja (»predopterećenje« prije kratkog spoja) manja od 80^0 C, tada opteretivost dobivenu iz tablice treba pomnožiti s redukcionim faktorima prema tablici na narednoj strani gore:

* Navedeni presjek je presjek aluminijskog plašta.

Redukcioni faktori za opteretivost golih užeta za nadzemne vodove strujom kratkog spoja

Opterećenje prije kratkog spoja u postocima maks. dozvoljenog prema tablici 200, strana 331	100	75	50	35
Ugrijanje zbog opterećenja °C	40	23	10	5
Temperatura užeta ϑ_1 uz pretpostavku temperature okoline 40° C °C	80	63	50	45
Ugrijanje $\Delta\vartheta$ alučeličnih i aluminijskih užeta u kratkom spoju ($\Delta\vartheta = 130 - \vartheta_1$) °C	50	67	80	85
Redukcioni faktori za Ač i Al-užeta	1,00	1,15	1,26	1,30
Ugrijanje $\Delta\vartheta$ bakrenih užeta u kratkom spoju ($\Delta\vartheta = 170 - \vartheta_1$) °C	90	107	120	125
Redukcioni faktori za Cu-užeta	2,0	2,30	2,56	2,60

291 Opteretivost provodnih izolatora strujom kratkog spoja

Nazivna struja provodnog izolatora	Najveća dozvoljena efektivna srednja vrijednost struje kratkog spoja (vidi 290, tačka 4, str. 475) u kiloamperima za trajanje kratkog spoja									
A	do 0,3″	0,5″	0,7″	1″	1,5″	2″	3″	5″	7″	10″
200	17	13	11	9	7,5	6,5	5	4	3,3	1,8
400	28	22,5	19	16	13,5	11,5	9,3	7	6	5
600	41	41	41	41	34	30	25	18,5	16	13,5
1000	81	81	81	81	73	62	51	40	34	28
1500	120	120	120	120	120	120	95	75	63	53
2000	185	185	185	185	185	160	130	100	86	72

Opteretivost za vrlo kratko trajanje kratkog spoja ograničena je mehaničkom čvrstoćom provodnih izolatora, tj. najvećom dozvoljenom udarnom strujom kratkog spoja. To je u tablici uzeto u obzir.

292 Opteretivost rastavljača do 35 kV strujom kratkog spoja (prema DIN 43 617)

Nazivna struja rastavljača	Najveća dozvoljena efektivna srednja vrijednost struje kratkog spoja (vidi 290, tačka 4, str. 475) u kiloamperima za trajanje kratkog spoja									
A	do 0,3″	0,5″	0,7″	1″	1,5″	2″	3″	5″	7″	10″
200	25	21	18	15	12	10,5	8,5	6,5	5,5	4,5
400	35	29,5	25	21	17	14,5	12	9,5	8	6,5
600	50	42,5	36	30	24,5	21	17	13,5	11	9,5
1000	100*	85*	72*	60	49	42,5	34,5	27	22,5	19
2000	150	106	89	75	61	53	43	33,5	28,5	24

Vrijedi analogna primjedba kao pod 291. Udarna struja kratkog spoja ne smije prijeći vrijednosti navedene u stupcu 2. Rastavljači do 600 A grade se s potpornim izolatorima grupe A (prelomna sila 375 kp), oni od 1000 A s izolatorima grupe B (750 kp), a oni od 2000 A s izolatorima grupe C (1250 kp).

* Vrijedi samo za dovode paralelne s noževima. Za dovode u obliku petlje (okomito na noževe) samo do 60 kA ako zagon nije samokočan. Stremenasti i pneumatski zagoni su samokočni.

Opteretivost okruglih i cijevnih vodiča od bakra i aluminija

293 a

Za ugrijanje (nadtemperaturu) 30° C (temperatura zraka 30 do 35° C)

Promjer	Presjek	Bakreni vodiči			Aluminijski vodiči		
		Težina	Opteretivost		Težina	Opteretivost	
			goli vodič	obojeni vodič		goli vodič	obojeni vodič
mm	mm²	kg/m	A	A	kg/m	A	A
a) Okrugli vodiči							
6	28,3	0,252	120	125	0,077	65	70
7	38,5	0,342	130	135	0,105	80	85
8	50,3	0,447	150	160	0,137	95	105
9	63,6	0,566	180	210	0,173	135	155
10	78,5	0,699	210	250	0,214	160	185
11	95,0	0,846	210	280	0,258	180	210
12	113,1	1,01	270	320	0,308	205	240
13	132,7	1,18	300	365	0,361	225	270
14	153,9	1,37	330	400	0,419	255	310
15	176,7	1,57	370	440	0,481	285	340
16	201,1	1,79	410	480	0,547	315	380
17	227,0	2,02	440	520	0,617	330	410
18	254,5	2,27	470	560	0,692	360	455
19	283,5	2,52	500	600	0,771	380	495
20	314,2	2,80	535	640	0,855	410	530
23	415,4	3,70	670	780	1,13	510	640
30	707	6,3	900	1085	1,93	690	870
b) Cijevni vodiči							
20/16	113	1,01	325	360	0,31	230	280
20/14	160	1,43	400	430	0,43	285	345
20/12	201	1,79	430	480	0,54	315	385
30/26	176	1,57	500	550	0,475	350	430
30/24	255	2,26	600	650	0,69	420	515
30/22	327	2,90	650	800	0,88	470	580
50/44	443	3,94	950	1050	1,21	675	850
50/42	578	5,15	1100	1200	1,56	770	970
50/40	707	6,29	1200	1350	1,91	825	1030
60/54	537	4,78	1150	1250	1,45	800	1000
60/52	704	6,26	1300	1450	1,9	915	1150
60/50	864	7,69	1450	1600	2,33	1000	1275

Vidi primjedbe na str. 486 i 487.

293 b

Opteretivost plosnatih bakrenih vodiča

za ugrijanje (nadtemperaturu) 30° C (temperatura zraka 30 do 35° C)

Mjere mm	Presjek mm²	Težina kg/m	I gole	I obojene	II gole	II obojene	III gole	III obojene	II II[1]) gole	II II[1]) obojena
			a) Za izmjeničnu struju 50 Hz							
12×2	24	0,22	110	125	200	225				
15×2	30	0,27	140	155	240	270				
15×3	45	0,40	170	185	300	330				
20×2	40	0,36	185	205	315	350				
20×3	60	0,54	220	245	360	425				
20×5	100	0,89	290	325	495	550				
25×3	75	0,67	270	300	460	510				
25×5	125	1,12	350	385	600	670				
30×3	90	0,80	315	350	540	600				
30×5	150	1,34	405	450	705	780				
40×3	120	1,07	415	460	710	785				
40×5	200	1,78	515	575	900	1000				
40×10	400	3,56	755	835	1350	1500	1855	2060	2530	2810
50×5	250	2,23	630	700	1090	1210	1575	1750	2080	2310
50×10	500	4,45	920	1025	1620	1800	2210	2450	2990	3330
60×5	300	2,67	740	825	1270	1410	1780	1980	2390	2650
60×10	600	5,34	1080	1200	1860	2060	2510	2790	3420	3800
80×5	400	3,56	930	1060	1630	1810	2190	2440	2930	3250
80×10	800	7,12	1380	1540	2350	2610	3110	3450	4140	4600
100×5	500	4,45	1180	1310	1970	2190	2640	2940	3380	3750
100×10	1000	8,90	1690	1880	2760	3060	3600	4000	4840	5380
120×10	1200	10,70	1980	2200	3180	3530	4160	4630	5510	6130
			b) Za istomjernu struju[2])							
50×5	250	2,23	665	740	1145	1275	1685	1875		
50×10	500	4,45	960	1070	1710	1900	2410	2680		
60×5	300	2,67	785	875	1360	1510	1920	2140	2480	2750
60×10	600	5,34	1125	1250	2010	2230	2810	3130	3540	3940
80×5	400	3,56	1025	1140	1810	2010	2480	2750	3200	3550
80×10	800	7,12	1460	1630	2590	2880	3630	4040	4570	5080
100×5	500	4,45	1260	1400	2250	2500	3040	3360	3850	4280
100×10	1000	8,90	1780	1980	3170	3590	4420	4910	5580	6200
120×10	1200	10,70	2120	2340	3750	4160	5180	5750	6640	7380
160×10	1600	14,24	2770	3080	4890	5440	6750	7500	8600	9560
200×10	2000	17,80	3430	3810	6080	6750	8330	9250	10580	11750

Vidi primjedbe na strani 486. i 487.

---

[1]) Za izmjeničnu struju mora razmak između srednjih šinja iznositi barem 50 mm.

[2]) Za tanje presjeke opteretivost istosmjernom strujom može se uzeti prema gornjoj tablici za izmjeničnu struju množeći vrijednosti iz tablice sa faktorom 1,03.

Opteretivost plosnatih aluminijskih vodiča

za ugrijanje (nadtemperaturu) 30° C (temperatura zraka 30 do 35° C)

Mjere mm	Presjek mm²	Težina kg/m	I gole	I obojene	II gole	II obojene	III gole	III obojene	II II[1] gole	II II[1] obojene
			Opteretivost u A za broj šinja po vodiču							
a) Za izmjeničnu struju 50 Hz										
12×2	24	0,065	80	100	140	180				
15×2	30	0,081	95	115	170	215				
15×3	45	0,122	115	150	210	265				
20×2	40	0,108	120	165	220	280				
20×3	60	0,162	145	195	270	340				
20×5	100	0,270	195	260	350	440				
25×3	75	0,202	180	240	330	410				
25×5	125	0,338	230	310	430	535				
30×3	90	0,243	205	280	385	480				
30×5	150	0,405	270	360	500	625				
40×3	120	0,324	280	370	500	630				
40×5	200	0,540	350	460	650	800				
40×10	400	1,08	515	670	975	1200	1350	1650	1800	2250
50×5	250	0,675	425	560	780	970	1120	1400	1500	1850
50×10	500	1,35	625	820	1150	1440	1600	1960	2160	2660
60×5	300	0,810	500	660	910	1130	1300	1580	1730	2120
60×10	600	1,62	730	960	1320	1650	1850	2230	2500	3040
80×5	400	1,08	650	850	1170	1450	1640	1950	2130	2600
80×10	800	2,16	930	1230	1650	2090	2300	2760	3100	3680
100×5	500	1,35	775	1050	1400	1750	2000	2350	2500	3000
100×10	1000	2,70	1120	1500	1950	2450	2700	3200	3700	4300
120×10	1200	3,24	1320	1760	2350	2830	3130	3700	4300	4900
b) Za istosmjernu struju[2])										
50×5	250	0,675	445	590	815	1020	1220	1500		
50×10	500	1,35	655	855	1215	1520	1730	2140		
60×5	300	0,810	530	700	960	1210	1425	1710	1840	2200
60×10	600	1,62	770	1000	1430	1790	2030	2500	2600	3150
80×5	400	1,08	700	910	1260	1610	1850	2200	2390	2840
80×10	800	2,16	985	1300	1840	2300	2640	3230	3390	4060
100×5	500	1,35	855	1120	1550	2000	2220	2700	2900	3420
100×10	1000	2,70	1200	1580	2240	2820	3210	3930	4180	4960
120×10	1200	3,24	1420	1875	2640	3330	3780	4600	4960	5900
160×10	1600	4,32	1850	2460	3450	4350	5000	6000	6500	7650
200×10	2000	5,40	2300	3050	4300	5400	6150	7400	8050	9400

Vidi primjedbe na strani 486 i 487.

[1]) Za izmjeničnu struju mora razmak između srednjih šinja iznositi barem 50 mm.

[2]) Za tanje presjeke opteretivost istosmjernom strujom može se uzeti prema gornjoj tablici za izmjeničnu struju množeći vrijednosti iz tablice sa faktorom 1,03.

293 d Opteretivost plosnatih, okruglih i cijevnih čeličnih vodiča

za ugrijanje (nadtemperaturu) 30° C (temperatura zraka 30 do 35° C)

Mjere	Presjek	Težina	Opteretivost u A za			
			izmjeničnu struju		istosmjernu struju	
mm	mm²	kg/m	goli vodiči	obojeni vodiči	goli vodiči	obojeni vodiči
			a) Plosnati vodiči			
10 × 2	20	0,16	27	32	32	36
12 × 2	24	0,19	32	38	38	44
16 × 2	32	0,25	40	50	48	55
20 × 2	40	0,31	50	60	60	70
25 × 2	50	0,39	60	70	70	80
40 × 2	80	0,63	90	105	105	125
50 × 2	100	0,79	110	130	125	155
20 × 3	60	0,47	55	65	70	85
25 × 3	75	0,59	65	80	85	105
40 × 3	120	0,94	100	120	130	155
50 × 3	150	1,18	120	145	160	190
			b) Okrugli vodiči			
3	7,06	0,059	12	15	15	16
5	19,64	0,154	20	25	28	32
6	28,27	0,222	24	30	35	40
8	50,27	0,395	32	40	50	60
10	78,54	0,617			70	80
16	201,1	1,58			130	155
20	314,2	2,47			180	210
			c) Cijevni vodiči			
20/16	113,1	0,89	70	95	115	135
30/26	176	1,38	100	135	165	195
50/46	302	2,40	160	215	270	325
60/56	364	2,86	190	250	315	385

293 e Primjedbe uz tablice opteretivosti vodiča 293a do 293d

Primjedbe: 1. Gornje tablice vrijede za šinje položene na užu stranu. Ako su šinje položene na širu stranu, pomnoži vrijednost u tablici sa 0,95.

2. Ako su dvije šinje paralelno spojene u malom razmaku, iznosi opteretivost obiju šinja zajedno oko 170% od vrijednosti u tablici, a 225% ako su paralelno spojene tri šinje. Ovo vrijedi za horizontalno položene šinje. Za vertikalno položene šinje navedeni se postoci smanjuju na 155% odn. 200%. (Za vertikalno položenu jednu šinju po vodiču vrijede podaci iz gornje tablice). Za presjeke od 1000 i 1200 mm² treba gornje postotke pomnožiti s 0,95.

3. Na slobodnom prostoru može se opteretivost povećati za 10 do 20%.

4. Tablica na strani 483 za okrugle i cijevne vodiče vrijedi za izmjeničnu struju 50 Hz. Za istosmjernu struju je opteretivost praktički jednaka za cijevne vodiče do presjeka 1000 mm², a za okrugle vodiče do 400 mm²; za 500 mm² je oko 5% veća, za 1000 mm² oko 7,5% veća.

5. Ako je dozvoljeno ugrijanje različito od 30° C, treba vrijednosti u tablici pomnožiti s ovim faktorima:

Ugrijanje	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	°C
Faktor	0,91	1	1,08	1,15	1,22	1,29	1,35	1,41	1,47	1,52	

Ugrijanje 30° C (uz temperaturu okoline 40° C) odgovara američkom standardu N.E.M.A. i A.I.E.E. te npr. njemačkoj i švicarskoj praksi. Tendencija je da se dozvoli veće ugrijanje (do 45° C) ako su kontaktna mjesta posrebrena. Ruski Elektrotehničeskij spravočnik daje tablice opteretivosti za ugrijanje čak 65° C (temperatura okoline 25° C, najviša dozvoljena temperatura vodiča 90° C).

294 Boje vodiča u razvodnim postrojenjima

prema Din 40705/1957

a) Boje vodiča za prijenos električne energije

Vrst struje	Vodič	Vodovi za prijenos energije (i ako su uzemljeni): Glavna boja za vodove uzemljene ili neuzemljene	Vodovi za prijenos energije (i ako su uzemljeni): Dodatna boja* za vodove neposredno uzemljene	Dozemni vodovi (od vodiča do zemlje): Glavna boja	Dozemni vodovi (od vodiča do zemlje): Dodatna boja*
istosmjerna	pozitivni negativni nul-vodič	crvena modra bijela	crna ili siva	crna ili siva	crvena modra bijela
trofazna	faza R faza S faza T nul-vodič	žuta zelena ljubičasta bijela			žuta zelena ljubičasta bijela
jednofazna[1])	faza R faza T	žuta ljubičasta			žuta ljubičasta

Primjedbe: 1. Vodiči za izjednačenje (npr. kod istosmjernih strojeva s kompaundacijom) bojadišu se bojom kojom se bojadiše vodič čiji potencijal oni približno imaju te, dodatno, bijelim prugama. — 2. Vodiči koji naizmjenično mijenjaju polarnost (npr. iza polnih preklopki) bojadišu se naizmjenično odgovarajućim bojama vodiča.

b) Boje vodiča zaštitnih i pogonskih uzemljenja

Vrst uzemljenja	zaštitno uzemljenje	pogonsko uzemljenje	zajedničko zaštitno i pogonsko uzemljenje
Označna boja	crna ili siva	bijela sa crnim ili sivim poprečnim prugama	od sastavišta crna ili siva sa bijelim poprečnim prugama

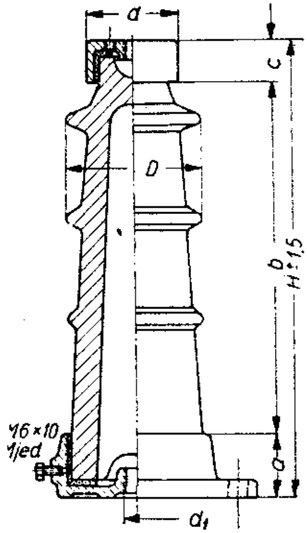
* Ovo je boja poprečnih pruga.

[1]) Ako je neki vod izmjenične struje dio trofaznog sistema, treba upotrijebiti boje kojima su odnosni fazni vodiči označeni u trofaznom sistemu. U željezničkim izmjeničnim postrojenjima faza R se označuje žuto, a druga faza ljubičasto.

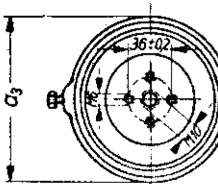
295 Potporni izolatori za prostorije

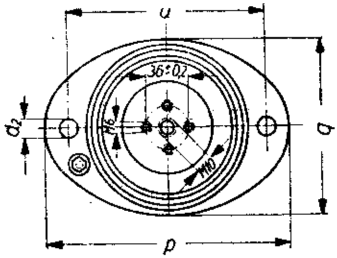
O z n a k e i z o l a t o r a

S okruglim podnoškom, slabiji: SAR (porculanski), SARe (epoksidni)
„ „ „ , jači: SBR (porculanski), SBRe (epoksidni)
S ovalnim podnoškom, slabiji: SAO (porculanski), SARe (epoksidni)
„ „ „ , jači: SBO (porculanski), SBRe (epoksidni)
S kvadratičnim podnoškom, najjači: SCQ (porculanski)



Oznaka porculanskih izolatora za R[1])	za O[2])	Za pogonski napon kV	F_p[3]) kp	Težina kg (približno) za R[1])	za O[2])
SAR 1	SAO 1	1	375	1,0	1,3
SAR 3	SAO 3	3		1,5	1,8
SAR 6	SAO 6	6[4])		2,0	2,1
SAR 10	SAO 10	10		2,6	2,8
SAR 20	SAO 20	20		3,6	4,2
SAR 30	SAO 30	30i35		5,0	5,5
SBR 1	SBO 1	1	750	2,5	3,0
SBR 3	SBO 3	3		3,1	3,6
SBR 6	SBO 6	6[4])		3,4	4,2
SBR 10	SBO 10	10		4,4	5,0
SBR 20	SBO 20	20		7,0	8,2
SBR 30	SBO 30	30i35		10,3	11,5
SBR 45	SBO 45	45		25,5	27,3
SCQ 1		1	1250	2,5	
SCQ 3		3		3,8	
SCQ 10		10		7,3	
SCQ 20		20		10,7	
SCQ 30		30i35		18	





Slika prikazuje porculanske izolatore tipa SA; kod tipa SB vijci su jači. Težina u tablici odnosi se također na porculanske izolatore.

[1]) do [4]) — vidi narednu stranu!

Potporni izolatori za prostorije (nastavak)

Mjere u mm

Oznaka		H	D	a	b	c	d	d_1	d_2	d_3	u	p	q
SAR 1	SAO 1	95	63	27	42	26	58	1/2″	11	80	110	135	85
SAR 3	SAO 3	135	73	32	77	26	58	1/2″	11	90	120	145	95
SAR 6	SAO 6	165	83	36	102	27	62	1/2″	11	100	130	155	105
SAR 10	SAO 10	190	88	36	127	27	62	5/8″	11	105	135	160	110
SAR 20	SAO 20	260	98	43	185	32	74	5/8″	14	115	150	180	120
SAR 30	SAO 30	345	108	48	265	32	74	5/8″	14	125	160	190	130
SBR 1	SBO 1	110	80	34	42	34	75	5/8″	11	102	140	170	110
SBR 3	SBO 3	150	90	40	76	34	75	5/8″	11	112	150	180	120
SBR 6	SBO 6	185	100	43	103	39	80	5/8″	14	123	165	200	132
SBR 10	SBO 10	215	105	48	128	39	80	3/4″	14	130	175	215	140
SBR 20	SBO 20	285	120	55	186	44	93	3/4″	17	150	205	250	160
SBR 20	SBO 30	370	135	60	266	44	93	7/8″	17	165	225	270	175
SBR 45	SBO 45	475	155	65	366	44	93	7/8″	22	187	255	310	200
SCQ 1		120	103	42	42	36	98	—	11	—	115	145	—
SCQ 3		160	115	47	77	36	98	—	14	—	130	165	—
SCQ 10		225	130	53	128	44	98	—	14	—	140	175	—
SCQ 20		290	145	61	185	44	98	—	14	—	150	190	—
SCQ 30		380	160	71	265	44	98	—	18	—	175	215	—

Visina izolatora za 60 kV 763 mm, 110 kV 1215 mm, 220 kV 2630 mm.

Promjer kape za 60 kV 145 mm, 110 kV 145 mm, 220 kV 250 mm.

Primjedbe: 1. Navedeni potporni izolatori odgovaraju njem. standardima DIN 48 100 (za grupu A), 48 101 (za grupu B) i 48 102 (za grupu C). — 2. Kapa i podnožak od sivog liva (lijevanog željeza). — 3. Potporni izolatori SAR 30, SAO 30, SBR 30, SBO 30 i SCQ 30 mogu se upotrebljavati i za napon 35 kV. — 4. Danas potporne izolatore tipa SA i SB sve više istiskuju rebrasti izolatori, a u posljednje vrijeme pojavili su se i kod nas potporni izolatori od epoksidnih smola (npr. araldit).*

---

[1] R - izolatori s okruglim podnoškom.

[2] O - izolatori s ovalnim podnoškom.

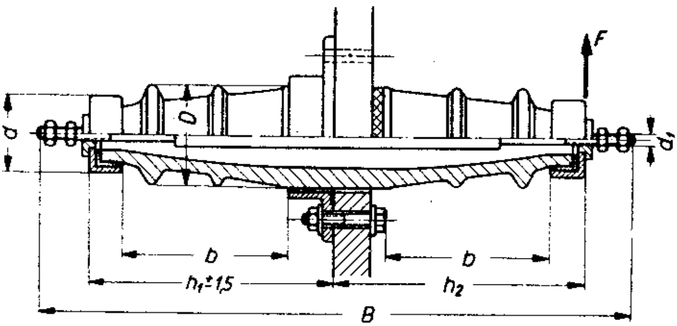
[3] F_p - nazivna prelomna sila na vrhu potpornog izolatora okomito na njegovu os. Ako sila djeluje na izolator u udaljenosti x od gornjeg brida izolatora, tada se prelomna sila smanjuje prema tablici na strani 471.

[4] Samo za zatvorena i oklopljena postrojenja. Inače za pogonski napon 6 kV treba upotrijebiti potporne izolatore za 10 kV.

* Npr. »Rade Končar« proizvodi ove izolatore u grupi **B** (prelomna sila 750 kp). U oznaku umjesto nazivnog napona stavlja stupanj izolacije (tj. najviši dopustivi pogonski napon), npr. SBRe 12. Ovi su izolatori mnogo kraći od porculanskih izolatora. Visina H iznosi za 10 (12) kV 125 mm, za 20 (24) kV 210 mm, a za 35 (38) kV 290 mm.

296 a

Provodni izolatori za prostorije



Slika se odnosi na provodne izolatore DB 1—20

(O z n a k a[1])	B	D	b[2])	d	d_1	h_1	h_2	Težina kom-pletno kg
	Mjere u mm							
DB 1/400	365	80	46	75	M 16	110	145	4,8
DB 1/600	385	80	46	75	M 20	110	145	5,8
DB 3/400	440	90	80	75	M 16	150	180	6,2
DB 3/600	460	90	80	75	M 20	150	180	7,3
DB 10/400	565	105	132	80	M 16	215	240	8,8
DB 10/600	585	105	132	80	M 20	215	240	10,3
DB 20/400	700	120	190	95	M 16	285	305	13,1
DB 20/600	720	120	190	95	M 20	285	305	15,2
DB 30/400	870	140	280	100	M 16	370	390	27,0
DB 30/600	890	140	280	100	M 20	370	390	29,0
DB 30/1000	920	140	280	100	R 1″	370	390	34,0
DB 30/1500	920	140	280	100	R 5/4″	370	390	38,0
DB 45/400	1140	160	370	20	M 16	520	500	42,0
DB 45/600	1170	160	370	120	M 20	520	500	45,0
DC 3/1000	490	125	80	112	R 1″	150	180	13,5
DC 10/1000	630	140	132	120	R 1″	225	245	16,0
DC 10/1500	630	140	132	120	R 5/4″	225	245	22,5
DC 10/2000	650	140	132	120	R 7/4″	225	245	29,3
DC 20/1000	755	155	190	130	R 2″	290	305	27,2

Primjedbe: 1. Osim navedenih provodnih izolatora proizvode se izolatori DB 45/1000, DB 45/1500 te izolatori tipa DC za 1, 3, 10 i 20 kV za struje 1000, 1500 i 2000 A. Za jače struje upotrebljavaju se izolatori s plosnatim vodičima.

2. Prelomni teret na krajevima provodnog izolatora okomito na njegovu os mora iznositi barem 750 kp za tip DB odn. 1250 kp za tip DC.

3. Za pričvršćenje prirubnice (podnoška) upotrebljavaju se do 3 kV vijci M 10, za 10 do 30 kV 1/2″, a za 45 kV 5/8″. Za tip DC 3 također vijci od 1/2″.

4. Provodni izolatori DB 30 mogu se upotrebljavati i za 35 kV.

---

[1]) U oznaci prvi broj znači pogonski napon u kV, za koji se izolator može upotrijebiti, a drugi nazivnu struju u A. Npr. DB 10/400 označuje provodni izolator za 10 kV i 400 A.

[2]) Ova mjera mora biti veća od preskočne daljine prema tablici 39.

Provodni izolatori za ulaz u prostorije

296 b

Oznaka[1])	Mjere u mm (oznake prema slici na strani 490				Montažni vijci	Težina kg
	B	b[2])	d	d_1		
DBF 10/400	520	150/160	75	M 16	1/2″	10,4
DBF 10/600	540	150/160	75	M 20	1/2″	10,9
DFB 30/400	950	372/308	90	M 16	1/2″	28,0
DFB 30/600	970	372/308	90	M 20	1/2″	30,0

Primjedba: Ovi izolatori nisu standardizirani pa navedene mjere mogu biti različite kod različitih proizvođača. — Vidi i primjedbe na strani 490.

Osigurači visokog napona

297

a) Ograničena struja kratkog spoja

Osigurači visokog napona prekidaju struju prije prve amplitude, tj. prije nego je ona postigla maksimalnu vrijednost. Stoga oni mogu prekinuti svaku struju kratkog spoja koja se praktički pojavljuje u mrežama do 35 kV. Najveća struja koja se pojavljuje prije nego je osigurač prekinuo strujni krug znatno je manja od one struje kratkog spoja koja bi potekla kad ne bi bilo osigurača, tj. od »očekivane struje kratkog spoja«. Najveću struju kratkog spoja možemo prema tome zvati »ograničenom strujom kratkog spoja«. Ona ovisi o nazivnoj struji osigurača te (u manjoj mjeri) o brzini porasta struje kratkog spoja, tj. o izmjeničnoj komponenti struje kratkog spoja. Ta se najveća struja može izračunati iz formule.

$$I_{\max} = f \cdot I_{k10}$$

I_{k10} je maksimalna struja koja se pojavljuje prije nego osigurač prekine strujni krug ako je izmjenična komponenta struje kratkog spoja 10 kA. Ona za osigurače velike snage (HH) Siemens iznosi:

Nazivna struja osigurača	6	10	15	25	40	60	100	150	200	A
Struja I_{max} za I_k = 10 kA	1,07	1,8	2,2	3,7	5,9	7,7	12,2	16,0	18,5	kA

Faktor f uzima u obzir brzinu porasta struje:

Za I_k	1	2	5	10	20	50	100	kA
iznosi f	0,47	0,58	0,79	1	1,25	1,75	2,25	

I_k je efektivna vrijednost izmjenične komponente struje kratkog spoja koja bi se razvila kad ne bi bilo osigurača. To je »očekivana struja kratkog spoja«.

Na primjer: Struja kratkog spoja $I_k = 30$ kA, a nazivna struja upotrebljenih osigurača $I_n = 40$ A. Za $I_n = 40$ A dobijemo $I_{\max} = I_{k10} = 5{,}9$ kA za struju 10 kA, a za $I_k = 30$ kA

$$I_{\max} = f I_{k10} = 1{,}42 \cdot 5{,}9 = 8{,}4 \text{ kA}$$

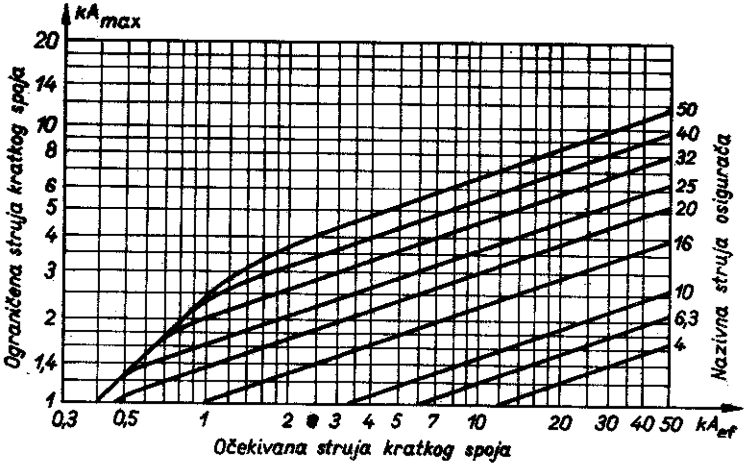
jer je za $I_k = 30$ kA, $f = 1{,}42$ (interpolacijom).

1) Prvi broj označuje nazivni napon, a drugi nazivnu struju.

2) Prvi broj odnosi se na dio izolatora izvan prostorije, a drugi na dio u prostoriji.

Osigurači visokog napona (nastavak)

Ograničena struja kratkog spoja može se za osigurače proizvodnje »Energoinvest« (licencija »Delle«) odrediti pomoću ovog dijagrama:



b) Isklopna snaga

Isklopna snaga osigurača vrlo je velika, obično veća od isklopne snage sklopaka. Isklopna snaga osigurača »Energoinvest« (licencija »Delle«) iznosi:

Tip osigurača	Nazivna struja	Pogonski napon postrojenja u kojem su osigurači ugrađeni					
		3 kV	6 kV	10 kV	20 kV	30 kV	35 kV
	A	MVA	MVA	MVA	MVA	MVA	MVA
FTR 10-I	1 do 32 40 i 50	500 400	400 320	200			
FTR 10-II	1 do 32 40 i 50		500	500 320			
FTR 10-III	63 do 125	400	320				
FTR 10-IV	63 do 125		700	1000			
FTR 35-I	1 do 4 6,3 do 10 16 do 32				1000 1000 1000	500 500 500	500 320 300

(Arapski broj u tipu osigurača označuje njegov nazivni napon.)

Drugi proizvođači daju druge podatke o isklopnim snagama svojih osigurača. Svakako je uvijek mnogo manja isklopna snaga osigurača koji se na licu mjesta mogu osposobiti (nakon djelovanja) umetanjem novih uložaka.

Isklopna snaga u gornjoj tablici određena je (u skladu s VDE 0670) onom strujom kratkog spoja koja bi se razvila kad bi osigurači bili premošteni metalnim spojem.

c) Izbor osigurača prema nazivnoj snazi transformatora odnosno kondenzatora

Nazivnu struju osigurača treba odabrati tako velikom da se osigurači ne rastale zbog udarne struje pri uklapanju. Nazivna struja osigurača treba uvijek da bude znatno veća od nazivne struje transformatora, pa prema tome **osigurači na strani visokog napona ne mogu štititi transformator od preopterećenja već samo od kratkog spoja.** Analogno vrijedi za kondenzatore.

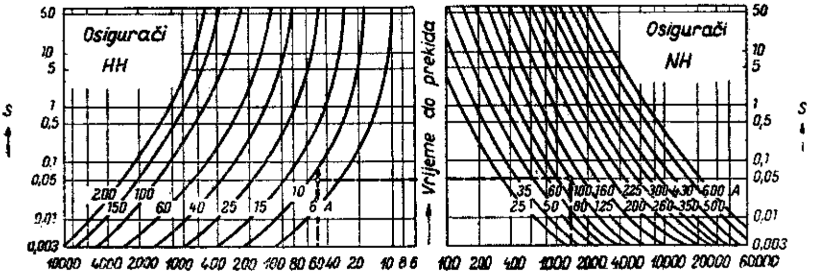
Nazivna struja osigurača A	Nazivna struja transformatora odn. kondenzatora A	Nazivna snaga trofaznog transformatora odn. kondenzatora u kVA kod napona 3 kV	5 kV	6 kV	10 kV	15 kV	20 kV	30 kV	35 kV
4	1	5	8	10	15	25	35	50	50
6	1,8	10	15	20	30	50	60	100	100
10	4	20	35	40	70	100	125	200	250
15	7,5	35	60	75	125	200	250	400	500
20	11,5	50	100	100	200	300	400	600	—
25	15	75	125	150	250	350	500	—	—
30	18	100	175	200	350	350	700	—	—
40	24	125	200	250	400	500	—	—	—
60	40	200	350	400	700	650	—	—	—
100	70	300	600	650	—	—	—	—	—
150	110	500	—	—	—	—	—	—	—
200	140	650	—	—	—	—	—	—	—

Za naponske mjerne transformatore upotrebljavaju se osigurači nazivne struje 2, 4 ili 6 A. Preporučuje se upotreba osigurača (patrona) 6 A.

d) Izbor osigurača s obzirom na selektivnost

Tablica navedena pod b) za izbor nazivne struje osigurača vrijedi samo uz uvjet da je transformator na strani niskog napona zaštićen brzim osiguračima, a ako je zaštićen tromim osiguračima, tada uz uvjet da se oni nalaze samo u odlaznim vodovima te da nisu dimenzionirani za cijelu nazivnu struju transformatora. Ako su tromi osigurači niskog napona dimenzionirani za cijelu nazivnu struju transformatora, tada nazivnu struju osigurača visokog napona treba odabrati na temelju karakteristika jednih i drugih osigurača (podaci od tvornice).

Evo primjera za odabiranje osigurača HH na osnovu *I-t* karakteristika osigurača HH i NH (osigurači niskog napona i velike snage) »Siemens«:



Na apscisi lijevo je struja kratkog spoja na strani visokog napona, a desno na strani niskog napona. Ucrtani primjer odnosi se na transformator 30 kVA, 10 000/400 V, gdje je sekundarno za presjek 35 mm² Cu uzet osigurač 100 A. Pomoću izračunate struje kratkog spoja vidi se da je potrebno uzeti patronu HH 10 A.

298 Rastavljači

a) Svrha rastavljača

Osnovna svrha rastavljača je da vidljivo prekine strujni krug, tj. da sasvim pouzdano odvoji dio postrojenja koji nije u pogonu od električne mreže koja je pod naponom. Uz to oni služe za kombinirano spajanje strujnih krugova.

Načelno, rastavljačem se ne smije prekidati strujni krug pod opterećenjem. U tu svrhu služe učinske sklopke (prekidači) ili sklopke-rastavljači (učinski rastavljači).

b) Isklapanje transformatora rastavljačem

Usprkos načelnoj odredbi da se rastavljačem ne smije prekidati strujni krug pod opterećenjem, ipak se izuzetno dopušta da se manji transformatori do napona 20 kV isklapaju rastavljačem. Prema tački 2. 6. 9. »Tehničkih propisa za pogon, održavanje i reviziju elektroenegetskih postrojenja« (Služb. list FNRJ br. 6/1957 — dodatak) smije se rastavljač upotrijebiti za isklapanje neopterećenog transformatora ako njegova snaga ne prelazi 250 kVA. Pod opterećenjem smije se rastavljačem isklopiti transformator do najviše 50 kVA.

Isklapanje rastavljačem transformatora iznad 20 kV ne preporučuje se.

c) Širina tropolnih rastavljača do 35 kV

Tropolni rastavljači za unutarnju montažu proizvodnje »Rade Končar« imaju ovu ukupnu širinu:

T i p	3 kV	10 kV			20 kV		35 kV
	200	do 630 A	1000 A	2000 A	do 630 A	1000 A	do 630 A
R	680	890	986	1062	1090	1245	1420
Rz-ob		950	1046		1030		1430
Rz-rb		890	986		1090		1420
2 R		785					
3 R		785			986		1116
3 Rz-ob		985			1095		1244
3 Rz-rb		985			1095		1244

R - rastavljači bez dozemnih noževa s ručnim ili pneumatskim zagonom i »klasičnim« potpornim izolatorima tipa SA odn. SB (vidi 295, str. 488). 2R - isto, ali s rebrastim potpornim izolatorima. 3R - isto, ali s epoksidnim potpornim izolatorima. Rz-ob i 3Rz-ob - dozemni rastavljači s dozemnim noževima prigrađenim na okretne kontakte i sa blokiranjem između glavne i dozemne osovine, Rz-rb i 3Rz-rb - isto samo što su dozemni noževi prigrađeni na rastavne kontakte.

299 Učinske sklopke (prekidači)

1. Propisi

Jugoslavenskih propisa ili standarda za učinske sklopke još nema.

Međunarodna elektrotehnička komisija (IEC) izdala je vrlo razrađena »Pravila IEC-a za učinske sklopke izmjenične struje« u 5 svezaka (publikacije br. 56, 56-1-A, 56-2, 56-3 i 56-4, izdanje 1954 do 1959. god.).

U propisima VDE učinske sklopke obuhvaćene su u »Pravilima za izmjenične aparate visokog napona« VDE 0670/1.54. Ta je publikacija prilično zastarjela i nalazi se u reviziji.

Francuski propisi sadržani su u publikaciji C 64-100.

2. Nazivne karakteristike

a) Nazivni naponi. Prema pravilima IEC učinska sklopka ima 2 nazivna napona od kojih prvi odgovara jednom od nazivnih napona mreže u tom izolacionom nivou, a drugi najvišem pogonskom naponu. Prema tome za naše mreže nazivni naponi učinskih sklopaka jesu: 10 kV/12 kV, 30 kV/38 kV, 110 kV/123 kV, 220 kV/243 kV. Prema VDE nazivni napon učinske sklopke jednak je nazivnom naponu mreže. U nas se uobičajilo da se učinske sklopke obilježuju samo jednim nazivnim naponom, i to nazivnim naponom mreže ili najvišim pogonskim naponom mreže.

b) Nazivne isklopne struje. Nazivna simetrična isklopna struja je simetrična isklopna struja u kA (vidi str. 466) koju svaki pol učinske sklopke može prekinuti. Nazivna asimetrična isklopna struja je asimetrična isklopna struja u kA (vidi str. 466) koju bilo koji pol učinske sklopke može prekinuti. Prema IEC navode se po dvije nazivne isklopne struje (dvije simetrične i dvije asimetrične), za svaki nazivni napon po jedna. Vidi i tačku 5 na strani 497.

c) Nazivna isklopna snaga:

Simetrična $P_{sim} = \sqrt{3}\, U_n I_{sim}$ Asimetrična $P_{as} = \sqrt{3}\, U_n I_{as}$

gdje je U_n nazivni napon sklopke, I_{sim} nazivna simetrična isklopna struja, a I_{as} nazivna asimetrična isklopna struja kod tog nazivnog napona. Uzima se prema IEC da je isklopna snaga konstantna između obih nazivnih napona. Vidi i tačku 5 na strani 497.

d) Nazivne uklopne struje jesu struje koje učinska sklopka može uklopiti kod nazivnih napona. Ako proizvođač ne daje podatke o nazivnoj uklopnoj struji, uzima se prema IEC da je ona jednaka:

$$I_{ukl} = 1{,}8\sqrt{2}\, I_{sim} = 2{,}55\, I_{sim}$$

Pritom je nazivna uklopna struja izražena tjemenom vrijednošću, a nazivna simetrična isklopna struja efektivnom vrijednošću.

e) Nazivna kratkotrajna struja je struja koju sklopka izdrži 1 sekundu (zovu je i jednosekundna struja). Za učinske sklopke koje nisu opremljene primarnim nadstrujnim okidačima ona mora, prema IEC, biti barem jednaka nazivnoj simetričnoj isklopnoj struji kod nižeg nazivnog napona. Ako je sklopka opremljena primarnim nadstrujnim okidačima, ona mora nazivnu isklopnu struju podnijeti za ukupno vrijeme isklapanja koje odgovara udešenju okidača na maks. vrijednost struje i najdulje vrijeme zatezanja.

f) Nazivna frekvencija je pogonska frekvencija za koju je sklopka građena i na koju se odnose ostale nazivne vrijednosti.

g) Nazivno vrijeme otvaranja je vrijeme otvaranja koje odgovara nazivnoj isklopnoj struji. Vrijeme otvaranja je vrijeme od početka isklopnog signala do otvaranja kontakata za gašenje luka. Prema tome ono ne obuhvata vlastito vrijeme releja.

h) Nazivno ukupno vrijeme isklapanja je zbroj nazivnog vremena otvaranja i vremena trajanja luka. (Vrijeme trajanja luka je vrijeme od stvaranja kontakata do prekida struje kratkog spoja u svim polovima.) Nazivno ukupno vrijeme isklapanja može imati dvije vrijednosti: za nazivnu simetričnu i za nazivnu asimetričnu isklopnu struju. Ako se navodi samo jedna vrijednost, ona se odnosi na asimetričnu isklopnu struju (koja je uvijek veća od simetrične).

3. Definicije drugih pojmova uz učinske sklopke

a) Vrijeme uklapanja sklopke je vremenski razmak od početka uklapanja do momenta kad se dodirnu kontakti koji uspostavljaju glavnu struju. Ovo vrijeme uključuje vrijeme rada svih pomoćnih uređaja za uklapanje sklopke.

b) Mrtvo vrijeme sklopke u operaciji automatskog ponovnog uklapanja je vremenski razmak od konačnog gašenja luka u svim polovima pri isklapanju do ponovnog uspostavljanja struje pri ponovnom uklapanju.

c) Vrijeme ponovnog uklapanja sklopke u operaciji brzog ponovnog uklapanja je vremenski razmak od uzbude okidača do ponovnog uspostavljanja struje pri ponovnom uklapanju.

d) Uklopno-isklopno vrijeme sklopke (make-break time) vremenski je razmak od momenta kratkog spoja do kojega je došlo uklapanjem sklopke do momenta konačnog gašenja luka u svim polovima s time da su okidači uzbuđeni u momentu uspostave kontakata.

4. Nazivni naponi, nazivne isklopke snage i nazivne struje (navedeni su samo naponi koji u nas dolaze u obzir)

a) Prema IEC, publikacija broj 56-3/1959.

Nazivni naponi niži	Nazivni naponi viši	Nazivna isklopna snaga	Nazivne struje (za trajni pogon)					
kV	kV	MVA	A	A	A	A	A	A
10	12	150	400					
		250	400	630	(800)	1250		
		350		630	(800)	1250	1600	
		500		630	(800)	1250	1600	2500
		750				1250	1600	2500
		1000				1250	1600	2500
30	38	350	400	630	(800)			
		500	(400)	630	(800)			
		(750)	400		800	1250		
		1000		630	(800)	1250		
		1500				1250	1600	
		2500				1250	1600	2500
110	123	1500		630				
		2500		630				
		3500			800	1250		
		5000			800	1250		
220	245	3500			800			
		5000			800	1250		
		7500				1250	1600	
		10000				1250	1600	
		15000					1600	

b) Prema DIN 43610/8.51 (»Tropolne učinske sklopke za redne napone 10 do 220 kV«)**

Redni napon	Pogonski napon najniži	Pogonski napon najviši	Nazivna isklopna snaga	Nazivne struje (za trajni pogon)					
kV	kV	kV	MVA	A	A	A	A	A	A
10	8	11,5	100	400					
			200	400	600	1000			
			400			1000	2000		
			600			1000	2000	4000	6000
			1000			1000	2000	4000	
30	24	35*	200	400	600				
			400		600	1000			
			600		600	1000			
			1000			1000	2000		
110	95	127	1500		600				
			2500		600				
220	190	253	2500		600				
			4000		600				

* Dopuštena je upotreba i za mreže 35 kV, dakle i za najviši pogonski napon (prema JUS) 38 kV.

** Ovaj je DIN zastario i nalazi se u reviziji.

c) Primjedbe uz tablice na strani 496.

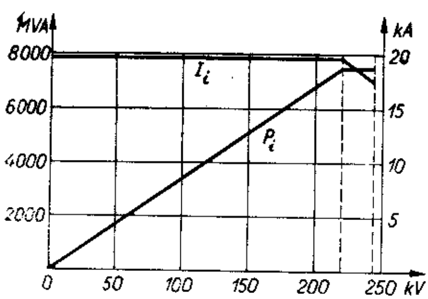
a) Norma DIN iz 1951. godine očigledno je zastarjela (nalazi se u reviziji). Usporedba ovih tablica pokazuje da je potrebna isklopna snaga posljednjih godina bitno porasla u mrežama 30 kV naviše. Dok je DIN iz 1951. godine sadržavao za mreže 220 kV najvišu isklopnu snagu 4000 MVA, IEC iz 1959. godine traži najmanje 3500 MVA, a ide i do 15 000 MVA. Za mreže 10 kV IEC više ne predviđa sklopke velike nazivne struje jer se veliki generatori danas uvijek spajaju u blok s pripadnim transformatorima.

b) Niži nazivni napon sklopke prema IEC ne mora odgovarati vrijednostima iz tablice lijevo gore, već može biti odabran iz jednoga od nizova nazivnih napona prema IEC, publikacija broj 38/1954. (vidi 42b, strana 107). Tako, na primjer, niži nazivni napon može iznositi 33 kV* umjesto 30 kV, ili 100 kV umjesto 110 kV.

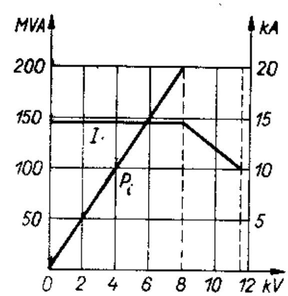
g) Prema DIN, sklopke reda 10 mogu se izraditi tako da imaju punu isklopnu snagu između 6,0 i 6,9 kV, ali tada na označnoj ploči mora biti naznačeno da je sklopka građena za pogonski napon 6 kV.

5. Isklopna snaga i isklopna struja sklopke

Kako je već rečeno na strani 495, uzima se prema IEC da je isklopna snaga sklopke konstantna između obih nazivnih napona. Prema VDE uzima se, slično, da je isklopna snaga konstantna između najnižeg i najvišeg pogonskog napona. Prema tome isklopna struja sklopke između obih ovih gra-



Sklopka 220/243 kV, 7500 MVA, 19,7/17,8 kA



Sklopka 10 kV, 200 MVA

ničnih napona opada obrnuto proporcionalno s naponom. Ako se dakle navodi samo jedna vrijednost za nazivnu isklopnu struju sklopke prema IEC, ona se odnosi na niži nazivni napon. Ispod nižeg nazivnog napona uzima se da isklopna struja sklopaka ostaje konstantna pa prema tome isklopna snaga opada s naponom linearno prema nuli. Iz slika se vidi kako se isklopna snaga i isklopna struja sklopke 220/245 kV prema IEC (lijevo) i sklopke 10 kV prema VDE (desno) mijenjaju u ovisnosti o pogonskom naponu.

6. Ručni pogon

Prema pravilima IEC (publikacija broj 56-4/1959) ručni pogon učinskih sklopaka dopušten je samo

— ako nazivna simetrična isklopna snaga ne prelazi 150 MVA,
— ako nazivna simetrična isklopna struja ne prelazi 6 kA,
— ako nazivna uklopna struja ne prelazi 15 kA (tjemena vrijednost).

Prema VDE 0670/1.54 ručni pogon je dozvoljen samo za sklopke isklopne snage do 200 MVA i uklopne struje do 30 kA (tjemena vrijednost).

* Što u nas ne bi bilo povoljno zbog preostalih mreža 30 kV.

300

Učinske sklopke jugoslavenske

Red-ni broj	Karakteristike[1]) Proizvođač / Vrst sklopaka / Tip		„Rade Končar" pneumatske 3P 123-35-8	3P 123-50-8	3P 123-50-12p[3])	3P 123-75-16
1	Vrst pogona[4])		pn.	pn.	pn.	pn.
2	Nazivni napon gornji	kV	123	123	123	123
3	Nazivni napon donji	kV	110	110	110	110
4	Podnosivi napon 50 Hz, 1 min, po kiši*	kV	230	230	230	230
5	Podnosivi udarni napon 1/50 μs (tjemena vrijednost)*	kV	550	550	550	550
6	Nazivna struja	A	800	800	1250	1600
7	Nazivna isklopna snaga simetrična[1])	MVA	3500	5000	5000	7500
8	Nazivna isklopna snaga asimetrična[1])	MVA	3850	5500	5500	8200
9	Nazivna isklopna struja simetrična[1])	kA	18,4	26,2	26,2	39,3
10	Nazivna isklopna struja asimetrična[1])	kA	20,2	28,8	28,8	43,2
11	Nazivna kratkotrajna struja (1 sek.)	kA	32,5	46	46	69,5
12	Nazivna uklopna struja (amplituda)[1])	kA	46	65	65	98
13	Ukupno vrijeme uklapanja[5])	s	0,15	0,15	0,15	0,15
14	Nazivno vrijeme otvaranja[5])	s	0,07	0,07	0,07	0,07
15	Nazivno ukupno vrijeme isklapanja[5])	s	0,09	0,09	0,09	0,09
16	Mrtvo vrijeme[5]) [6])	s	0,25	0,25	0,25	0,25
17	Vrijeme ponovnog uklapanja[5])	s	0,25	0,25	0,25	0,25
18	Isklapanje i brzo ponovno uklapanje[7])		1/3p	1/3p	1/3p	1/3p
19	Potrošak elektroventila	W	550	550	550	550
20	Potrošak svitka za uklapanje (po polu)	W	550	550	550	550
21	Potrošak svitka za isklapanje (po polu)	W	550	550	550	550
22	Potrošak zraka za isklapanje (1 ata, 20° C)	lit.	1500	1500	1500	2200
23	Potrošak zraka za uklapanje (1 ata, 20° C)	lit.	100	100	100	200
24	Potrošak motora u pogonu	W				
25	Potrošak grijača u pogonu	W				
26	Težina ulja po polu	kg				
27	Težina tropolne grupe (sa pogonom)	kg	3600	3600	3600	3600
28	Razmak polova (minimalno)	mm	2000	2000	2000	2000
29	Širina tropolne grupe (minimalno)	mm	5500	5500	5500	5500
30	Visina sklopke + prostor za reviziju	mm	4700	4700	4700	4700

* Za stepen izolacije SI 123 odn. SI 245 prema JUS N.B0.030/1958 (vidi 44, str. 108). Ispitni naponi prema JUS iznose kao što ih navodi »Rade Končar«.

1) Definicije pojedinih karakterističnih veličina vidi u 299, str. 494 i 495. Nazivne struje navedene u tablici odnose se na donji nazivni napon. Kod gornjeg nazivnog napona one su proporcionalno niže.

2) »Rade Končar« izrađuje još i sklopke: a) 2Pv 110g 600, 123 kV, 600 A, 2500 MVA; b) 2Pv 110g 1250, 123 kV, 1250 A, 2500 MVA (oba ova tipa sklopaka mogu u pojačanoj izvedbi isklapati i 3500 MVA); c) Pv 220h 600, 245 kV, 600 A, 5000 MVA; d) Pv 220h 1250, 245 kV, 1250 A, 5000 MVA; 3P 245 — 100 — 12p kao 3P 245 — 100 — 12, samo u pojačanoj izvedbi.

3) p - pojačana izvedba (za »kilometarske greške«).

110 i 220 kV*
proizvodnje

Redni broj	„Rade Končar" pneumatske 3 P 245-75-12	3 P 245-75-12p[3])	3 P 245-100-12	3P 245-120-12	3 P 245-150-16p[3])	„Energoinvest" malouljne HPGE 11/14	HPGE 11/15	OR 2R 14/18	„Elektrosrbija" malouljne PS-1101/MOP1	PS-1101/MOP3	PS-2201
1	pn.	pn.	pn.	pn.	pn.	mot.	mot.	up.	mot.	mot.	mot.
2	245	245	245	245	245	123	123	245	123	123	245
3	220	220	220	220	220	100	100	220	110	110	220
4	460	460	460	460	460	262	262	460	256	256	506
5	1050	1050	1050	1050	1050	550	550	1050	570	570	1130
6	1250	1250	1250	1250	1600	1000	1250	1250	1250	1250	1250
7	7500	7500	10000	12000	15000	2500	3500	8000	3500	3500	7500
8	8250	8250	11000	13200	16500	3000	4200	9600	4300	4300	9250
9	19,7	19,7	26,2	31,4	39,3	14,5	20,0	21,0	18,4	18,4	19,7
10	21,7	21,7	28,8	34,6	43,2	17,4	24,0	25,2	22,5	22,5	24,2
11	35,4	35,4	46,7	56	69,5	[8])	[8])	[8])	36,6	36,6	39,4
12	50	50	66	79	98	36,0	50,0	52,5	46,5	46,5	50,2
13	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,13	0,15	0,15	0,16	0,23	0,16
14	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,05	0,05	0,05	0,03	0,03	0,03
15	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,10	0,10	0,06	0,07	0,07	0,07
16	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,20	0,20	0,20
17	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25				0,26	0,26	0,26
18	1/3 p	1/3 p	1/3 p	1/3 p	1/3 p	1/3 p	1/3 p	1/3 p	3 p	3 p	1 p
19	550	550	550	550	550						
20	550	550	550	550	550	500	500	300	300	300	300
21	550	550	550	550	550	500	500	300	200	200	200
22	2250	2250	3200	4400	4400						
23	200	200	200	400	400						
24						1100	1100	1000	1500	1000	1500
25						500	500	520	2×400	2×400	2×400
26						85	135	220	50	50	210
27	7000	8000	9000	9000	9600	3850	3950	7500	2220	3360	7840
28	4000	4000	4000	4000	4000	2000	2000	3800	1800	2000	3700
29	9500	9500	9500	9500	9500	7600	7600	12000	5600	5600	9900
30	5900	5900	5900	5900	5900	5164	6346	6500	4120	6620	7330

[4]) pn. - pneumatski, mot. - motorno-opružni, up - uljnopneumatski pogon.

[5]) Za sklopke »Rade Končar« ova vremena vrijede za pneumatsku (zračnu) komandu. Za hidrauličku (uljnu) komandu (skuplje) ona su znatno kraća i iznose: **13.** Ukupno vrijeme uklanjanja **0,08** s. — **14.** Nazivno vrijeme otvaranja **0,05** s. — **15.** Nazivno ukupno vrijeme isklapanja **0,07** s. — **16.** Mrtvo vrijeme **0,15** s. — **17.** Vrijeme ponovnog uklapanja **0,15** s.

[6]) Naziva se i »najkraći trenutni period« i »vrijeme beznaponske pauze«.

[7]) 1/3 p - jednopolni ili tropolni, 1p - jednopolni, 3p - tropolni pogon.

[8]) Energoinvest garantira dozvoljenu termičku struju kroz 5 sek. za sklopke **123** kV **14,5** odn. **20,0** kA, a za sklopku **245** kV **21,0** kA.

301

Hidromatske sklopke do 35 kV
proizvodnje »Rade Končar« prema licenci SSW (»Siemens«)

a) Karakteristike

Karakteristike	H 6a 400	H 10a 400	2H 6b 600	2H 6b 600	2Hp 6b 600	2H 10b 600	2H 10b 600	2Hp 10b600	2H 35c 600
Nazivni napon mreže kV	6	10	6			10			35
Donji granični napon[1]) kV	6	8	6			8			24
Gornji granični napon kV	7,2	12	7,2			12			38
Podnosivi napon 50 Hz kV	42	42	42			42			86
Podnosivi udarni napon kV	75	75	75			75			170
Nazivna struja A	400	400	400	600	600	400	600	600	600
Isklopna struja* (ef.) kA	9,6	5,8	19,2	19,2	24	11,6	11,6	14,4	6,6
Uklopna struja* (ampl.) kA	24	14,5	48	48	60	29	29	36	16,5
Struja 1 sek. kA	16	16	20	20	20	20	20	20	30
Isklopna snaga* MVA	100	100	200	200	250	200	200	250	400
Naz. vrijeme otvaranja[2]) s	0,07	0,07	0,07			0,07			0,12
Tlak zraka za pogon atp.	5	5	5			5			5
Potrošak zraka[3]) (1 ata) lit.	12	12	25			25			25
Težina tropol. sklopke[4]) kg	100	100	170			170			580

»Rade Končar« proizvodi i sklopke nazivne struje 800 A: 2H 6b 800, 2Hp 6b 800, 2H 10b 800 i 2Hp 10b 800. Karakteristike kao za 400 i 600 A.

b) Vrsti pogona

Za sklopke a (npr. H 10a 400): Rp ili Rs ili P + Rp ili P + Rs.
Za sklopke b (npr. 2H 10b 400): Rp ili Rs ili P.
Za sklopke c (2H 35c 600): Rp ili P + Rp.

Rp — ručni prednji pogon, Rs — ručni stražnji pogon, P — pneumatski pogon + pomoćno vreteno, P + Rp — pneumatski + ručni prednji, P + Rs — pneumatski + ručni stražnji pogon.

c) Primarni okidači

Sa sklopkama 6 i 10 kV normalno se dobavljaju i 2 ili 3 primarna okidača proizvodnje SSW, tip AAs 100, a na zahtjev se prigrađuju i na sklopke 30 (35) kV.

Nazivna struja A			12	25	50	100	150	300
Dopuštena udarna struja		kA	12	25	50	50	50	50
Dopuštena kratkotrajna struja	0,4 s	kA	3,9	8,1	16,1	20	20	20
,, ,, ,,	1 s	kA	2,7	5,7	11,4	20	20	20
,, ,, ,,	2 s	kA	2,0	4,2	8,4	16,9	20	20
,, ,, ,,	4 s	kA	1,5	3,1	6,1	12,2	18,3	20
,, ,, ,,	6 s	kA	1,2	2,5	5,0	10,0	15,1	20
,, ,, ,,	8 s	kA	1,0	2,2	4,3	8,7	13,1	20
Dopuštena trajna struja		kA	24	50	100	200	300	600

Područje regulacije struje okidanja: 1 do 2 × nazivna struja.

---

* Pri nazivnom naponu.

1) Do tog napona sklopka isklapa uz isklopnu snagu navedenu u tablici. Ako je napon još niži, isklopna se snaga smanjuje (od donjeg graničnog napona linearno prema nuli, vidi stranu 497).

2) Od uzbuđenja svitka do prekida kontakta.

3) Za jedno uklapanje (pneumatski pogon).

4) Približno; težina ovisi o vrsti prigrađenog pogona.

d) Sekundarni okidači

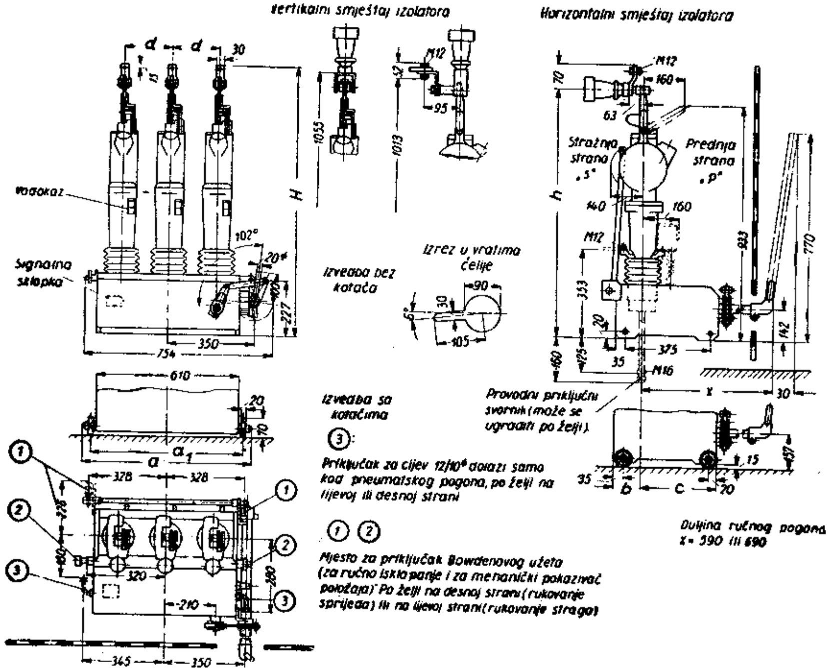
Oni služe za daljinsko električko isklapanje ili za isklapanje pri preopterećenju odnosno kratkom spoju. Treba ih predvidjeti umjesto primarnih okidača uvijek kad je kratkotrajna struja veća od dozvoljenih vrijednosti prema tablici pod c). Izvode se kao naponski (n), podnaponski (p) i strujni (s). Normalno se dobavlja samo 1 n, a na zahtjev: 1n, 1 p, 1 s, 2 s, 1 n + 1 p, 1 n + 1 s, 1 p + 1 s, 1 n + 2 s, 1 p + 2 s.

e) Signalna sklopka

Ona sadrži slijedeći broj kontakata:
kod sklopaka sa slovom b i c u oznaci tipa: 5 u + 5 i + 1 t
kod sklopaka sa slovom a u oznaci tipa, normalno: 3 u + 3 i + 1 t
na zahtjev: 5 u + 5 i + 1 t

u — uklopni kontakti, i — isklopni kontakti, t — trenutni kontakti.

f) Mjere hidromatskih sklopaka



Sklopka H10a 400 sa pogonom Rp ili P + Rp

T i p	a	a_1	b	c	d	H	h
H 6a, H 10a	670	640	110	320	200	1083	1013
2H 6b, 2H 10b, 2Hp 6b, 2Hp 10b	800	770	155	365	220	1832	1150
2H 30c	1330	1270	220	550	410	2194	2059

Mjere ćelija hidromatskim sklopkama vidi u 302a i b.

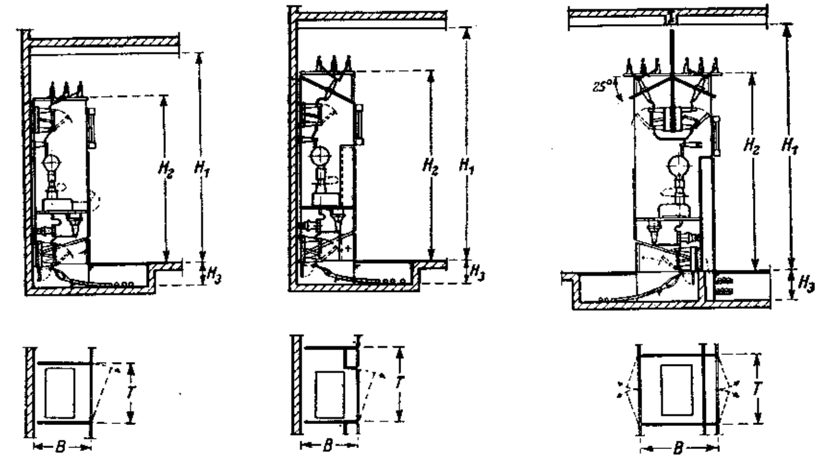
g) Količina hidrina

Za sklopke a 2,5 kg, za sklopke b 5 kg, za sklopke c 10 kg.

302 a

Izvedba i mjere rasklopnih ćelija 10 kV
sa hidromatskim sklopkama »Končar« (prema SSW)

S jednom sabirnicom — Sa 2 sabirnice



Izvedba a — Izvedba b — Izvedba c

Oznaka mjere	Jedna sabirnica			Dvije sabirnice	
	Približne mjere u mm za sklopke			Priblizne mjere u mm za sklopke	
	100 MVA H 6a 400 H 10a 400 izvedba a	100 MVA H 6a 400 H 10a 400 izvedba b	200 MVA 2H 6b* 2H 10b* izvedba b	100 MVA H 6a 400 H 10a 400 izvedba c	200 MVA 2H 6b* 2H 10b* izvedba c
H_1	3050	3450	3650	3450	3650
H_2	2450	2900	3050	2900	3050
H_3	500	500	500	500	500
B	800	800	1000	1100	1200
T_1	900[1])	900[1])	1000	900[1])	1000
T_2	—	—	1300	—	—
T_3	—	—	1500	—	—

Za izvedbu sa jednom sabirnicom vrijedi:

T_1 – bez komandnog ormara, hidromatske sklopke s primarnim okidačima te polužnim ili pneumatskim pogonom, rastavljači sa pogonom motkom, polužnim ili pneumatskim pogonom.

T_2 – s uskim komandnim ormarom (približno 300 mm svijetle širine) podesnim za smještaj relejne kombinacije i pneumatskih ventila za sklopku odnosno rastavljače kao i za najviše dva mjerna instrumenta te šinje za stezaljke.

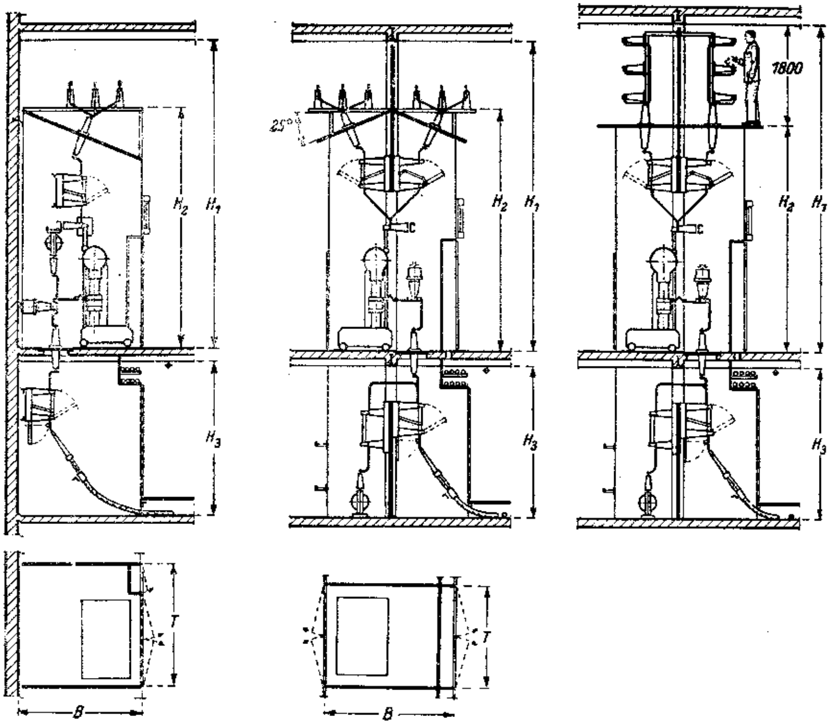
T_3 – sa širokim komandnim ormarom (približno 500 mm svijetle širine) podesnim za smještaj relejne kombinacije i pneumatskog komandnog aparata za sklopke i rastavljače kao i za (najviše) dva mjerna instrumenta te šinje za sabirnice.

* Vrijedi i za sklopke 2Hp6b i 2Hp10b isklopne snage 250 MVA.

1) Ako kabelski rastavljači i rastavljači za uzemljenje imaju pneumatski pogon, tada = 1000 mm.

Izvedba i mjere rasklopnih ćelija 35 kV
sa hidromatskim sklopkama »Končar« (prema SSW)

S jednom sabirnicom — Sa dvije sabirnice



Izvedba a — Izvedba b — Izvedba c

Približne mjere u mm za sklopke 2H 35c 600, 35 kV, 600 A, 400 MVA

Oznaka mjere	Jedna sabirnica	Dvije sabirnice	
	Izvedba a	Izvedba b	Izvedba c
H_1	5600	5700	6000
H_2	4300	4400	4200
H_3	2750	2750	2750
B	2100	2200	2200
T_1	—	1700	1700
T_2	2000	—	—
T_3	2200	—	—

Objašnjenje za oznake T_1, T_2 i T_3 vidi na prethodnoj strani.

Primjedba: Danas se sve više rade tvornički gotove rasklopne ćelije kao i kompletne limene transformatorske i rasklopne stanice. Vidi o tome detaljno razrađene brošure naših poduzeća: »Energoinvest« Sarajevo, »Rade Končar« Zagreb, »Elektroindustrija in splošna montaža« (EM) Maribor, »Elektrosrbija« Beograd.

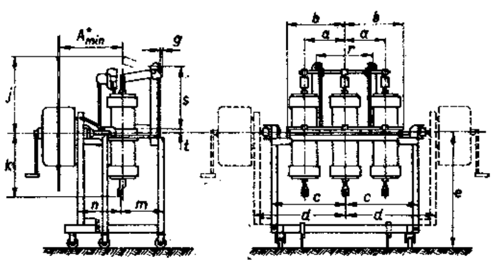
303 a

Malouljne sklopke 6 do 35 kV »Energoinvest«

za unutarnju montažu, proizvodnje »Energoinvesta«, Sarajevo, prema licenci francuske tvornice »Delle«

a) Karakteristike

Tip	Nazivni napon kV	Nazivna struja A	Isklopna snaga MVA	Mjere u milimetrima *a*	*b*	*c*	*d*	*e*	*m*	*n*
HP 3-4 HP 4-4	6 10	320 320	60 90	250	401	465	635	1100	273	370
HP 3-6 HP 4-6	6 10	500 500	125 170	310	450	545	715	1100	335	403
HP 3-6 HP 4-6	6 10	800 800	125 170	360	520	655	825	1100	415	425
HP 3-7 HP 4-7	6 10	500 500	210 250	290	450	525	695	1100	350	433
HP 3-7 HP 4-7 HP 3-7 HP 4-7	6 10 6 10	800 800 1250 1250	210 250 210 250	360	520	655	825	1100	415	425
HP 3-8 HP 4-8	6 10	500 500	270 400	290	450	525	695	1100	350	433
HP 3-8 HP 4-8 HP 3-8 HP 4-8	6 10 6 10	800 800 1250 1250	270 400 270 400	360	540	655	825	1100	415	425
HP 7-6	35	500	250	375	565	720	890	1380	477,5	505,5
HP 7-8	35	500	500	465	740	845	1015	1380	598,5	573,5
HP 7-9	35	630	750	465	740	845	1015	1380	598,5	573,5



Tip	Isklopna struja kA (efekt.)	Uklopna struja kA (ampl.)
HP 3-4	5,8	14,5
HP 3-6	12,0	30,0
HP 3-7	20,6	52,0
HP 3-8	26,0	65,0
HP 4-4	5,4	13,5
HP 4-6	9,8	24,5
HP 4-7	14,6	36,5
HP 4-8	23,0	57,0
HP 7-6	4,1	10,3
HP 7-8	8,0	20,0
HP 7-9	12,4	31,0

Pogoni se mogu, prema želji, montirati na prednjoj, desnoj ili stražnjoj strani sklopke.

* Za sve sklopke 550 mm, osim za sklopke tipa HP 7-8 i HP 7-9 gdje je 560 mm.

Malouljne sklopke 6 do 35 kV »Energoinvest« (nastavak)

b) Pogon. Upotrebljava se ručni pogon s volanom, ručni pogon sa oprugom i električni motorni pogon (elektroopružni pogon). Napon motora 110 i 220 V 50 Hz ili 24, 110 i 220 V =. Potrošak uklopnog i isklopnog svitka po 500 W= ili 600 VA ~, potrošak motora 700 W= ili 850 VA ~.

c) Signalni kontakti. Normalno 4: 2 uklopna i 2 isklopna.

d) Primarni okidači: a) Tip RDX: trenutno djelovanje. b) Tip RDU: vremensko zatezanje neovisno o struji, udešavanje u području 1 do $2I_n$, trenutno djelovanje iznad $5I_n$. c) Tip RDT: vremensko zatezanje ovisno o struji, udešavanje u području 1,2 do $2I_n$, trenutno djelovanje iznad $4I_n$. — Nazivne struje I_n okidača: 1 — 2 — 3 — 4 — 5 — 7 — 10 — 15 — — 20 — 25 — 30 — 40 — 50 — 60 — 75 — 100 — 125 — 150 — 200 A.

e) Sekundarni okidači: 1 naponski okidač (za isklapanje ili uklapanje), 1 podnaponski okidač. Normalni naponi: 110 i 220 V 50 Hz ili 110 V=. Potrošak podnaponskog okidača (110 i 220 V) 25 W= odn. 40 VA~ kad je kotva privučena, a 110 W= odn. 200 VA~ za vrijeme uključivanja. Potrošak naponskog okidača (6 do 220 V) 150 W= odn. 300 VA~.

303 b

Malouljne sklopke do 35 kV »Elektrosrbija«

za unutarnju montažu, proizvodnje »Elektrosrbije« Ripanj prema licenci talijanske tvornice »Magrini«

a) Karakteristike

Karakteristika		Tip sklopke (prekidača)					
		PU-154	PU-156	PU-355	PU-356	PS-355	PS-356
Nazivni napon mreže	kV	10	10	35	35	35	35
Gornji granični napon	kV	17,5	17,5	38	38	38	38
Podnosivi napon 1 min, 50 Hz	kV	53	53	100	100	100	135
Udarni ispitni napon (50 % preskoka)	kV	110	110	135	190	135	270
Nazivna struja	A	400	600	500	600	500	600
Isklopna struja kod 15 kV	kA	8,4	19,2	—	—	—	—
Isklopna struja kod 10 kV	kA	12,0	22,0	—	—	—	—
Isklopna struja kod 35 kV	kA	—	—	5,8	13,2	5,8	13,2
Uklopna struja (amplituda)	kA	21,0	49,0	14,8	34,8	14,8	34,8
Struja preopterećenja 1 s	kA	10		8	20,5	8	
Struja preopterećenja 3 s	kA	8,5		6	13,7	6	13,7
Isklopna snaga kod 15 kV	MVA	220	500	—	—	—	—
Isklopna snaga kod 10 kV	MVA	146	332	—	—	—	—
Isklopna snaga kod 35 kV	MVA	—	—	350	800	350	800
Vrijeme do prekida luka	s	0,09	0,10	0,11	0,10	0,11	0,10
Tlak zraka za pneumatski pogon	at	3—6	10-12	10-12	10-12	10-12	10-12
Potrošak zraka 1 ata	lit.	6	10-15	16	10-15	16	10-15
Elektroventil	W	600	500	600	500	600	500
Isklopni svitak	W	200	300	200	300	200	300
Elektromagnetski pogon	kW	8	14	12	14	12	14
Uključen električni pogon	s	0,30	0,22	0,32	0,22	0,32	0,22
Težina ulja	kg	6	45	45	55	45	78
Težina sklopke s RP ili PP*	kg	100	220	300	300	314	530
Težina sklopke s EMP*	kg	120	260		340		610

* Težina sklopke bez ulja i kolica. RP — ručni pogon, PP — pneumatski pogon, EMP — elektromagnetski pogon.

Malouljne sklopke 6 do 35 kV »Elektrosrbija« (nastavak)

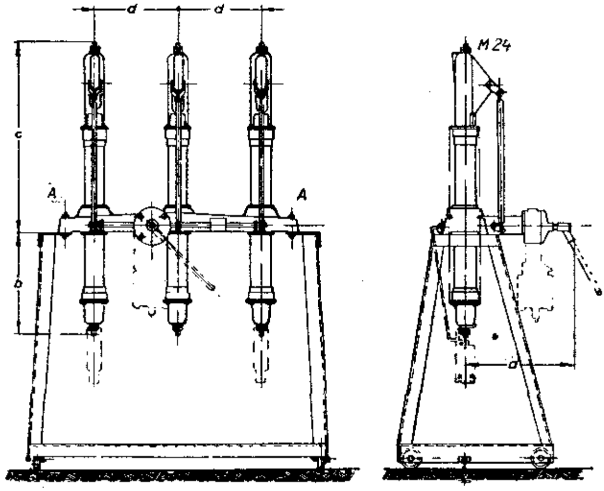
b) P o g o n može biti ručni ili elektromagnetski + ručni, na zahtjev pneumatski + ručni ili motorno-opružni + ručni. Ručni pogon može biti frontalni ili bočni. Pomoćni istosmjerni napon za el. magnetski pogon 110 ili 220 V, potrošak za sklopku 10 kV 8000 W, za sklopku 35 kV 12 000 W. Pomoćni napon za pneum. pogon 6 do 220 V=, potrošak isklopnog svitka 200 do 300 W, potrošak elektroventila 500 do 600 W.

c) P o m o ć n i k o n t a k t i. Sklopka može imati slijedeći broj kontakata: 3, 5, 6, 8 ili 12. Broj kontakata i njihovu podjelu na uklopne i isklopne treba navesti u narudžbi.

d) P r i m a r n i o k i d a č i. Sklopke se mogu dobaviti: a) s okidačima OPP (proizvod BBC) s vremenom zatezanja nezavisnim od struje, nazivnom strujom 5 do 400 A, područjem udešavanja struje od 1,2 do $2I_n$, područjem udešavanja vremena 0 s te od 0,3 do 6 s. — b) S okidačima OPN (proizvod »Magrini«) s vremenom zatezanja zavisnim od struje, s nazivnom strujom 10 do 400 A, područjem udešavanja od 1 do $2I_n$.

e) S e k u n d a r n i o k i d a č za daljinsko isklapanje može biti za izmjeničnu ili istosmjernu struju 6, 12, 24, 48, 60, 110 ili 220 V. Potrošak 200 W= odn. 2000 VA~.

f) M j e r e m a l o u l j n i h s k l o p a k a »E l e k t r o s r b i j a«



Tip PU 155 na kolicima sa frontalnim ručnim pogonom.

Tip	Mjere u milimetrima					
	a	b	c	d	A — A[1])	Kolica
PU 154	499	378	665*	280	760×110	988×550[2]), visina 850
PU 355	471	0	1824*	450	1170×250	1284×590[2]), visina 603
PU 356	468	0	2016[3])	450	1246×375	1310×405

* Bez prigrađenog releja.

1) Razmak između vijaka za pričvršćenje na kolica ili na mosnu konstrukciju: prvi broj — po širini, drugi broj — po dubini.

2) Kolica u tlocrtu.

3) Visina sklopke uključivši kolica.

304a

Autopneumatski rasklopni aparati 6 do 35 kV

(sklopke—rastavljači) za unutarnju montažu, proizvodnje »Energoinvesta«, Sarajevo prema licenci francuske tvornice »Delle«

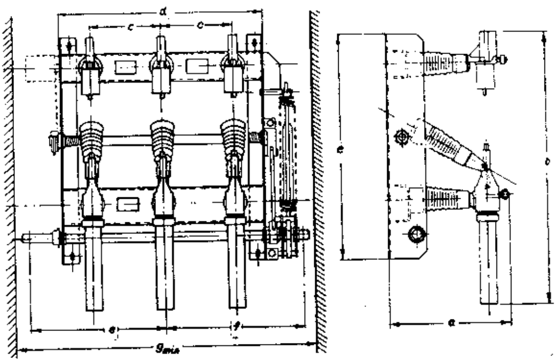
a) Vrsti

Tipovi R i RN: Teretne sklopke - rastavljači za isklapanje pod opterećenjem; ne mogu isklapati struje kratkog spoja pa za zaštitu od kratkog spoja moraju u seriji s njima uvijek biti osigurači.

Tipovi RF i RFN: Teretne sklopke - rastavljači sa prigrađenim osiguračima: Kao RD odnosno RDN, samo što su na njima već prigrađeni osigurači.

Tipovi RD i RDN: Učinske sklopke - rastavljači, koje služe kao rastavljač i zaštitna sklopka na mjestima gdje isklopna snaga nije velika.

b) Osnovni podaci i mjere



Vrst	Tip	U_n kV	I_n A	Mjere u milimetrima						
				a	b	c	d	e	f	g_{min}
Teretne sklopke rastavljači	RN3	6	200	432	975	260	740	475	510	1080
	RN3a	6	320							
	RN4	10	200	432	975	260	740	475	510	1080
	RN4a	10	320							
	R7	35	200	612	1255	420	1220	790	790	1750
S osiguračima	RFN3	6	200*	580	1160	240	702			1000
	RFN4	10	200*	580	1160	240	702			1000
	RF7	35	200*	710	1610	450	1280			1610
Učinske sklopke rastavljači	RDN3	6	200	685	995	240	702			1000
	RDN4	10	200	685	995	240	702			1000
	RD7	35	200	820	1255	450	1280			1620

a - ukupna visina, b - ukupna duljina, c - razmak polova, g_{min} - minimalna širina ćelije. Crtež odgovara aparatima RN.

* Nazivna struja osigurača za RFN3 25, 50 i 125 A, za RFN4 32, 50 i 125 A, za RF7 32 A.

c) Pogon: Ručni polužni pogon koji može biti izveden za 5 različitih položaja.

d) Signalni kontakti: a) Tipovi R i RN bez signalnih kontakata — b) Tipovi RF, RFN, RD i RDN imaju normalno 4 sign. kontakta:

e) Primarni okidači: a) Tipovi R i RN bez okidača. — b) Tipovi RF i RFN s okidačima RTE 4 A udesivim u području 1 do 1,6 I_n, vremensko zatezanje ovisno o struji, nazivne struje 1 — 2 — 3 — 4 — 5 — 7 — 10 — 15 — 20 — 30 — 40 — 50 — 60 — 80 — 100 — 125 A. — c) Tipovi RD i RDN s okidačima kao malouljne sklopke »Energoinvesta« (vidi 303a, str. 502).

f) Sekundarni okidači: a) Tipovi R i RN bez okidača — b) Tipovi RF, RFN, RD i RDN: 1 naponski okidač (daje mehanički impuls za isklapanje, kad mu se na svitak narine napon), 1 podnaponski okidač (kad nestane ili se nedopušteno smanji napon, on automatski isklapa aparat). Napon za naponski okidač 110 i 220 V 50 Hz, ili 110 V = ; za podnaponski okidač 110 i 220 V 50 Hz.

g) Položaj: Tipovi RF, RFN, RD i RDN smiju raditi samo u vertikalnom položaju s cilindrima okrenutim prema dolje, a tipovi R i RN smiju raditi i u horizontalnom položaju.

h) Osigurači za tipove RF i RFN odabiru se prema nazivnoj struji primarnih okidača prema ovom pregledu:

I_n okidača	1 do 4	5 do 10	20 do 30	40 do 60	80 do 100
I_n osigurača	10	32	63	125	200

i) Isklopna snaga. Kod tipova RF i RFN ona ovisi o isklopnoj snazi osigurača jer samo oni štite od kratkog spoja. Osigurači »Energoinvesta« FTR za 6 do 10 kV do 10 A imaju 500 MVA, ostali osigurači »Energoinvesta« 320 MVA. — Isklopnu snagu tipova RDN i RD daje ovaj pregled:

Tip	RDN 3	RDN 4	RD 7	
Isklopna struja (efekt.)	1150	1150	500	A
Isklopna snaga	12	20	30	MVA
Uklopna struja (ampl.)	7000	7000	700	A

304b Sklopke-rastavljači (učinski rastavljači) 10 kV »Elektrosrbija«

a) Tipovi: RP-104/1, RP-104/2, RP-104/3, RPO-104/4, RPO-104/5.

Oznake znače: RP — rastavljač-prekidač (rastavljač snage) bez prigrađenih osigurača, RPO — isto ali sa prigrađenim osiguračima; 104 — 10 kV, 400 A; 1 — bez zaštite i bez opružnog mehanizma; 2 — bez zaštite, ali s opružnim mehanizmom i svitkom za daljinsko isklapanje; 3 — s termičkim nadstrujnim relejem, opružnim mehanizmom i svitkom za daljinsko isklapanje; 4 — kao 3, ali s prigrađenim osiguračima ispod noževa; 5 — kao 4, ali osigurači su prigrađeni na noževe.

b) Osnovne karakteristike: Nazivni napon 10 kV, nazivna struja 400 A, dinam. granična struja 90 kA, term. gran. struja 25 kA, isklopna snaga 3,5 MVA pri cos φ = 0,1, odn. 7 MVA pri cos φ = 0,8 do 1.

Pneumatske sklopke 35 kV

305

proizvodnje »Rade Končar« prema licenci franc. tvornice »Merlin & Gerin«

Nazivni napon mreže	35 kV	Maks. vrijeme otvaranja	0,09 s.
Donji granični napon	30 kV	Tlak zraka za gašenje	14 at.
Gornji granični napon	38 kV	Potrošak zraka 1 ata	
Podnosivi napon 50 Hz	86 kV	— za 1 uklapanje	50 lit.
Podnosivi udarni napon	170 kV	— za 1 isklapanje	800 lit.
Nazivna struja	500 A	Volumen vlast. rezervoara	90 lit.
Isklopna struja (ef.)	8,2 kA	Visina	2060 mm
Uklopna struja (ampl.)	1,5 kA	Širina	1000 mm
Kratkotrajna struja 1 s	10 kA	Dubina	1168 mm
Isklopna snaga	500 MVA	Težina	650 kg

Sklopke imaju pneumatski pogon te su opremljene polugama za ručno uklapanje i isklapanje koje preko Bowdenova (Bauden) užeta djeluju na pneumatske ventile, a mogu biti opremljene i elektroventilima za daljinsko uklapanje i isklapanje. Oprema nadalje obuhvaća tlačni relej, signalnu sklopku za upravljanje, signalnu sklopku za signalizaciju (sa 4 uklopna, 4 isklopna i jednim trenutnim kontaktom), pomoćni relej i pokazivalo položaja. Za zaštitu se redovno upotrebljavaju sekundarni nadstrujni releji.

Prenaponska zaštita, općenito

306

Nikakvim odvodnicima prenapona ni iskrištima nije moguća apsolutno sigurna zaštita transformatora i sklopnih aparata protiv direktnog udara groma. Stoga se preporučuje sve važnije transformatorske i rasklopne stanice na otvorenom, tj. sve takve stanice od 110 kV i više i važnije stanice 35 kV zaštititi zaštitnim užetima. I nadzemni vodovi koji ulaze u stanicu ili izlaze iz nje neka budu zaštićeni zaštitnim užetima u duljini od barem 1 km, a poželjno je da važniji vodovi budu na cijeloj duljini zaštićeni takvim užetima.

Struje kod udara groma su vrlo velike: prema njemačkim mjerenjima kod 74% gromova struja iznosi do 40 kA, kod 18% gromova 40 do 70 kA, kod 5% gromova 70 do 100 kA, a kod 3% gromova ona prelazi 100 kA. Najveća dosada registrirana struja groma prelazi 300 kA. Međutim, odvodnik prenapona nije u stvari odvodnik groma već odvodnik udarnih (putujućih) valova jer postrojenje mora protiv direktnih udara biti zaštićeno zaštitnim (gromobranskim) užetima. Struja kroz odvodnik određena je visinom izolacije, valnim otporom, prilikama uzemljenja i mogućim brojem reflekcija putujućeg vala te se ona bitno razlikuje od struje groma. Kod odvodnika na kraju voda i potpune refleksije iznosi struja kroz odvodnik: $i = (2u - u_{odv})/Z$, gdje je u udarna čvrstoća izolacije prema zemlji, u_{odv} - proradni napon odvodnika, Z - valni otpor (za nadzemne vodove 375 do 450 oma, za kabele oko 50 oma).

Prenaponska zaštita, općenito (nastavak)

Udarna čvrstoća izolacije voda prema zemlji iznosi kod vodova 10 do 20 kV na drvenim stupovima čak oko 1000 kV (pa i više), a kod vodova na betonskim stupovima najviše 50% više od podnosivog udarnog napona (6 do 8 puta efektivna vrijednost linijskog nazivnog napona. Primjer za vod 10 kV; $i = (2 \cdot 1\,000\,000 - 40\,000) : 400 = 4900$ A. Prema tome su transformatori priključeni na vodove na drvenim stupovima jako ugroženi ako nisu poduzete posebne mjere.

Zbog prigušenja nisu više opasni za stanicu udari groma*:

— u udaljenosti većoj od 15 km od stanice ako je vod na čeličnim ili betonskim stupovima;

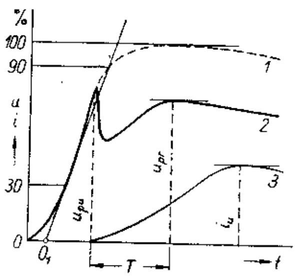
— u udaljenosti većoj od 45 km od stanice ako je vod na drvenim stupovima.

Koordinacija izolacije je skup svih mjera koje se poduzimaju da se spriječe bilo kakvi proboji u električnom postrojenju, a preskoci, ako se ne mogu spriječiti ekonomski podnosivim mjerama, da se svedu na mjesta gdje neće učiniti štetu ni smetnju u pogonu ili će šteta i smetnja biti male.

307 a

Ventilni odvodnici[1])

a) Definicije



u_{pu} — proradni udarni napon,

u_{pr} — propušteni napon,

i_u — udarna struja kroz odvodnik (odvodna struja)

O_1 — nazivni (konvencionalni) početak naponskog vala,

T — proradno vrijeme.

1 — naponski val kad odvodnik ne bi proradio;

2 — udarni val na odvodniku;

3 — strujni val kroz odvodnik.

Proradni udarni napon — najviši napon koji je postignut prije prolaza odvodne struje kad je val određenog oblika i polarnosti narinut na odvodnik.

Proradni izmjenični napon — efektivna vrijednost najmanjeg napona 50 Hz koji uzrokuje reagiranje odvodnika.

Propušteni napon (preostali napon, napon rasterećenja) jest napon koji na odvodniku postoji u toku odvođenja struje rasterećenja. To je napon koji odvodnik propušta prema postrojenju.

Čelo vala — dio vala prije tjemena. Hrbat vala — dio vala između tjemena i kraja vala. Strmina vala određena je pravcem koji tangira čelo vala (vidi sliku gore); izražava se obično u kV (ili kA).

Puni naponski val — val koji nije prekinut preskokom ili probojem. Odrezani naponski val — val prekinut na čelu, tjemenu ili hrptu preskokom ili probojem koji uzrokuje nagli pad napona.

---

* Roth, Novija istraživanja na području odvodnika prenapona, E und M 1954, str. 107.

1) Zovu ih još katodni odvodnici ili odvodnici s promjenljivim, varijabilnim ili nelinearnim otporom. Propise vidi: a) Publikacija IEC br. 99—1/1958. (»Preporuke za odvodnike prenapona, 1. dio: Ventilni odvodnici«). — b) VDE 0675/9.57. (»Zaštita električnih postrojenja protiv prenapona«). — c) BS 2914/1957. (»Odvodnici prenapona«). — d) JUS N.B2.050 — prijedlog.

N a z i v n o t r a j a n j e v a l a T_2: Vrijeme od nazivnog (konvencionalnog) početka vala do časa kad napon ili struja spadnu na polovinu tjemene vrijednosti. N a z i v n o t r a j a n j e č e l a v a l a (T_1): a) za pune ili odrezane naponske valove: 1,67 × vrijeme potrebno da napon poraste od 30% na 90% tjemene vrijednosti; b) za strujne valove: 1,25 × vrijeme potrebno da struja poraste od 10 na 90% tjemene vrijednosti. Val se označuje obično u obliku T_2/T_1, npr. 1,2/50 µs. (Ovo nije omjer jer nema nikakvo matematičko značenje.)

b) N a z i v n i n a p o n i

Nazivni naponi odvodnika iznose prema IEC: 0,175 — 0,280 — 0,500 — 0,660 — 3 — 4,5 — 6 — 9 — 12 — 13 — 15 — 18 — 20 — 25 — 30 — 37 — 40 — 50 — 60 — 73 — 80 — 90 — 97 — 109 — 123 — 130 — 145 — 160 — 170 — 184 — 196 — 210 — 245 kV. Ti nazivni naponi označuju u stvari najviši dopušteni napon mreže kojoj nultačka nije uzemljena ili je uzemljena samo preko velikih otpora.

c) N a z i v n a s t r u j a i l i n a z i v n a o d v o d n a m o ć

Nazivna struja ili nazivna odvodna moć je nazivna udarna odvodna struja koja se izražava tjemenom vrijednošću strujnog vala 8/20* µs.

Međunarodno su usvojene slijedeće veličine odvodnika prenapona određene nazivnom strujom (nazivnom odvodnom moći) (za strujni val 8/20* µs):

Nazivna struja	Američki naziv tipa**	Nazivna struja	Američki naziv tipa**
10 kA	station type (heavy duty type)	2,5	distribution type (line type)
5 kA	intermediate type	1,5	secondary type

d) P o d n o s i v i d u g i i k r a t k i s t r u j n i v a l o v i***

Nazivna struja	Ispitivanje dugim pravokutnim valom		Ispitivanje kratkotrajnim strujnim udarom 4/10 µs²)
	strujni val	trajanje	
kA	A	µs	kA
10	150	2000	100
5	75	1000	65
2,5	50	500	25
1,5	Ne traži se¹)		10³)

Gornja ispitivanja su tipska ispitivanja. Odvodnici ih moraju izdržati bez oštećenja.

* VDE propisuje strujni val 10/20 mikrosekunda.

** Station type (čitaj: stejšn tajp) — stanični tip; heavy duty type (hevi djuti tajp) — tip za velike zahtjeve; intermediate type (intermidiejt tajp) — srednji tip; distribution (line) type (distribjušn, lajn tajp) — distributivni (linijski) tip; secondary type (seknderi tajp) — sekundarni tip. Distributivnim tipom naziva se i izvedba B za 5 kA (vidi tablicu e).

*** Prema IEC, publikacija 99-1/1958.

¹) VDE traži 30 A kroz 300 mikrosekunda.

²) VDE propisuje 5/10 mikrosekunda.

³) VDE propisuje 15 kA.

e) Proradni i propušteni napon ventilnih odvodnika

Nazivni napon odvodnika[1])	Najviši linijski napon mreže[2])	Najniži proradni napon 50 Hz	Najviši proradni udarni napon 1,2/50µs i propušteni napon za odvodnike nazivne struje (8/20µs)*					
			10 kA[3]) S	10 kA[3]) N	5 kA A	5 kA B	2,5 kA	1,5 kA
kV	kV	kV	kV	kV	kV	kV	kV	kV
Prema IEC, publikacija br. 99—1/1958 i prijedlogu JUS N. B2.050								
12	12	18	43		47	70/60[4])	47	Samo za odvodnike do 1 kV
25	25	38	90		94		94	
37	37	56	133		133			
73	73	110	263		263			
97	123 Z	145	350		350			
123	123	185	443		443			
196	245 Z	295	708					
Prema VDE 0675/9.57								
6	7	12		26	26		26	26
10	11,5	20		40	40		40	40
20	23	40		80	80		80	80
30	35	60		120	120		120	120
60	70	120	204	235	235		235	
110 Z	125 Z	180	306	330	330			
110	125	220	374	415	415			
220 Z	250 Z	360	612	660				
Prema BS 2914/1957								
12,5	12,5	20	52		56		66	75
25	25	40	105		110		120	130
37	37	59	155		160			
73	73	117	305		310			
100	125 Z	160	415					
123	123	197	510					
196	245 Z	341	815					

f) Izbor ventilnih odvodnika

Veličina 10 kA: Za zaštitu većih elektrana i transformatorskih stanica. Za postrojenja 110 kV i više preporučuje se uvijek.

Veličina 5 kA: Za zaštitu ostalih elektrana i većih trafostanica do 60 kV.

Veličina 2,5 kA: Za zaštitu manjih transformatorskih stanica do 20 kV gdje su veći odvodnici preskupi.

Veličina 1,5 kA: U prvom redu za razdiobu niskim naponom na selu.

Nazivni napon odvodnika za mreže s efikasno uzemljenom nultačkom treba da bude približno jednak 80% nazivnog napona odvodnika za mreže s neuzemljenom nultačkom. Nazivni napon odvodnika za priključak na zvjezdište transformatora neka iznosi 60 do 80% nazivnog napona odvodnika za priključak između faze i zemlje[5]).

* Prema preporukama IEC i nacrtu JUS propušteni napon odvodnika prigodom ispitivanja strujnim valom oblika 8/20 ne može biti veći od najvećeg (100%-tnog) proradnog udarnog napona oblika 1,2/50 µs. (VDE daje oblik 10/20 za strujni val i 1/50 za naponski val.)

[1]) Navedeni su samo oni nazivni naponi koji su interesantni za našu zemlju.

[2]) Sa Z su označeni naponi mreža s efikasno uzemljenom nultačkom (koeficijent uzemljenja najviše 80%).

[3]) Izvedba N zadovoljava zahtjeve VDE 0111/4.58, izvedba S primjenjuje se u naročitim slučajevima.

[4]) Prvi broj je najviši proradni udarni napon, drugi broj propušteni napon.

[5]) Pojedine firme preporučuju: ACEC 60%, Siemens 80%, Sprecher & Schuh 65—75%. Elin 70—80%.

g) Ventilni odvodnici prenapona velike odvodne moći

Nazivna odvodna moć prema IEC 10 kA

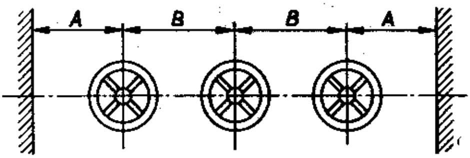
Proizvođač »Elektrosrbija« Ripanj prema licenci švicarske tvornice »Sprecher & Schuh«

Tip odvodnika	Nazivni napon odvodnika	Najviši pogonski napon mreže na koju se odvodnik može priključiti između			Zaštitne karakteristike odvodnika nazivne struje 10 kA				
		faznog vodiča i zemlje		nultačke i zemlje	Proradni naponi		Propušteni napon za dolazni val oblika 10/20 μs s tjemenom		
		Nultačka direktno uzemljena	Nultačka izolirana	Nultačka izolirana	Minim. proradni napon 50 Hz	100% proradni napon 1/50μs	5 kA	10 kA	20 kA
	kV_{ef}	kV_{ef}	kV_{ef}	kV_{ef}	kV_{ef}	kV_{tj}	kV_{tj}	kV_{tj}	kV_{tj}
VOP- 37,5	37,5	46	37	57	69	102	106	110	122
VOP- 40,5	40,5	50	40	61	75	110	114	119	132
VOP- 42	42	52	42	64	78	114	119	124	137
VOP- 45	45	56	45	69	83	122	127	133	145
VOP- 49,5	49,5	61	49	75	91	135	140	147	161
VOP- 52,5	52,5	65	52	80	96,5	143	149	155	170
VOP- 58,5	58,5	73	58	90	108	159	196	172	189
VOP- 60	60	75	60	92	111	163	170	176	194
VOP- 73,5	73,5	91	73	113	135	200	207	215	238
VOP- 81	81	101	81	124	149	220	229	238	262
VOP- 90	90	112	90	138	166	245	255	265	291
VOP- 97,5	97,5	121	97	150	180	266	276	287	316
VOP-195	105	131	105	161	193	286	297	309	340
VOP-109,5	109,5	136	109	168	202	298	310	322	354
VOP-117	117	146	117	180	215	318	331	344	378
VOP-123	123	153	123	189	226	334	348	361	391
VOP-126	126	157	126	193	232	342	356	370	408
VOP-130,5	130,5	162	130	200	240	355	369	383	423
VOP-145,5	145,5	181	145	223	268	396	412	428	471
VOP-147	147	183	147	226	271	400	416	432	476
VOP-160,5	160,5	200	160	246	296	437	454	472	520
VOP-169,5	169,5	211	169	260	312	462	480	498	549
VOP-178,5	178,5	223	178	274	329	485	505	525	578
VOP-184,5	184,5	230	184	283	340	502	522	542	597
VOP-196,5	196,5	245	196	302	361	535	556	578	636
VOP-199,5	199,5	249	199	306	367	542	565	586	645
VOP-210	210	262	210	322	386	572	594	620	678
VOP-220,5	220,5	275	220	338	406	600	625	650	715
VOP-246	246	307	246	378	454	669	696	723	795
VOP-252	252	314	252	387	464	685	713	740	815

Ovi odvodnici mogu podnijeti val 4/10 μs 100 kA_{tj}

Ovo su »station type« (heavy duty type) odvodnici (vidi pod c).

Visina i raspored ventilnih odvodnika prenapona tipa VOP



Tip odvodnika	Visina V	Razmaci A	Razmaci B	Tip odvodnika	Visina V	Razmaci A	Razmaci B
	mm	mm	mm		mm	mm	mm
VOP- 37,5	960	500	600	VOP-123	2320	1500	1900
VOP- 40,5	960	600	750	VOP-126	2320	1500	1900
VOP- 42	960	600	750	VOP-130,5	2555	1550	1950
VOP- 45	1110	600	750	VOP-145,5	2555	1700	2100
VOP- 49,5	1110	600	750	VOP-147	2555	1700	2100
VOP- 52,5	1110	600	750	VOP-160,5	3170	1800	2200
VOP- 58,5	1345	650	800	VOP-169,5	3300	1850	2250
VOP- 60	1345	650	800	VOP-178,5	3300	1900	2300
VOP- 73,5	1345	700	850	VOP-184,5	3385	2100	2500
VOP- 81	1785	1000	1400	VOP-196,5	3535	2350	2950
VOP- 90	1935	1150	1550	VOP-199,5	3535	2400	3000
VOP- 97,5	2085	1200	1600	VOP-210	3770	2500	3100
VOP-105	2085	1300	1700	VOP-220,5	3770	2500	3200
VOP-109,5	2170	1400	1800	VOP-246	4510	2850	3450
VOP-117	2320	1500	1900	VOP-252	4510	2900	3500

h) Ventilni odvodnici prenapona do 40 kV male i srednje odvodne moći

Proizvođač »Elektrosrbija« Ripanj prema licenci talijanske tvornice »Magrini«

Tip odvodnika	Najviši trajni napon na odvodniku	Nazivna struja odvodnika prema IEC	Kratkotrajna odvodna struja 4/10 µs	Najmanji proradni napon 50 Hz	100%-tni proradni napon 1/50 µs	Najviši propušteni napon za dolazni val oblika 10/20 µs s tjemenom 1,5 kA	5 kA	10 kA	20 kA
	kV_{ef}	kA_{tj}	kA_{tj}	kV_{ef}	kV_{tj}	kV_{tj}	kV_{tj}	kV_{tj}	kV_{tj}
KO -0,5	0,575	1,5	15	1	2,5	4,2	4,8	5,2	—
KOA- 3	3			5	15	7,5	9	10	13
KOA- 6	6			10	26	15	18	20	26
KOA- 9	9			15	36	22	27	30	39
KOA-12	12			20	47	30	36	40	52
KOA-15	15	5	65	25	58	37	45	50	65
KOA-18	18			30	69	44	54	60	78
KOA-25	25			42	94	59	72	80	104
KOA-37	37			63	133*	89	108	120	156
KOA-40	40			68	144**	104	126	140	182

Odvodnici KO—0,5 za mreže niskog napona jesu »secondary type« odvodnici, a oni za mreže visokog napona (KOA—3 do KOA—40) jesu »intermediate type« odvodnici (vidi c).

i) **Najveća dozvoljena udaljenost ventilnih odvodnika**
Za spoj preko nadzemnog voda

Napon mreže nazivni kV	Napon mreže najviši kV	Nivo izolacije na udar kV	Najveća udaljenost odvodnika od transformatora m* nultačka izolirana (koef. 100 %)	Najveća udaljenost odvodnika od transformatora m* nultačka uzemljena (koef. do 80%)	Vrst stupova
35	38	170	15	25	drveni
35	38	170	20	30	metalni
60	72	325	25	40	„
110	123	450	—	30	„
110	123	550	40	70	„
220	245	900	—	50	„
220	245	1050	55	—	„

Prema Priručniku tvornice BBC zaštitno područje ventilnih odvodnika iznosi toliko metara koliko iznosi nazivni napon postrojenja u kV, a barem 25 m.

Prema podacima Bittera[1]) preporučuje se da razmak između zaštićenog objekta i odvodnika u mrežama 10 do 35 kV ne bude veći od 23 do 25 m ako je zaštićeni objekt iza odvodnika, odnosno 9 do 10 m ako je ispred odvodnika.

Za spoj preko kabela

Ako je pred ulazom u stanicu kabel, tada udaljenost odvodnika od zaštićenog objekta može biti dvostruka od one koja je gore navedena za spoj preko nadzemnog voda. Ako je kabel dulji, treba odvodnike staviti na oba kraja kabela. Ako je kabel vrlo dug, opet je dovoljno staviti odvodnike samo na početak kabela.

Iskrišta

307b

Iskrišta pretstavljaju jeftinu zaštitu postrojenja od prenapona, ali prema odvodnicima prenapona imaju ove nedostatke:

1. Koordinacija izolacije osigurana je samo onda ako je strmina putujućeg vala smanjena prigušenjem na vodu (što je u praksi većinom slučaj). Kod vrlo strmih valova zakašnjenje u preskoku na iskrištu može ugroziti postrojenje.

2. Kontinuiranost pogona nije osigurana u mrežama gdje se luk zbog velike struje zemljospoja ne gasi sam od sebe.

3. Djelovanje iskrišta u važnim pojnim stanicama s kruto uzemljenom nultačkom stvara kratki spoj koji predstavlja udar za transformatore i prenosi se na cijelu mrežu.

4. Djelovanje iskrišta stvara odrezani val koji dodatno napreže izolaciju ulaznih svitaka transformatora, osobito ako je razmak između iskrišta i transformatora manji od desetak metara. (Za transformatore koji zadovoljavaju ispitivanje odrezanim valom ovo je bez opasnosti.)

5. Opasnost za učinsku sklopku od takozvanog evolutivnog kvara kod učinskih sklopaka koje pri isklapanju neopterećenog transformatora ili neopterećenog voda visokog napona prouzrokuju velike prenapone.

6. Zbog opasnosti od odrezanog vala ne treba nikada ugraditi iskrišta između zvjezdišta transformatora i zemlje. (Treba upotrijebiti odvodnik prenapona.)

---

* Vidi ACEC–Revue, broj 3/1957.
[1]) Siemens-Zeitschrift, broj 8/1956.

Iskrišta (nastavak)

Međunarodnih preporuka za razmak iskrišta za pojedine napone nema. Prijedlog Tehničkog odbora broj 28 IEC iz 1958. god. povučen je jer se nije mogla postići suglasnost. Prema novom nacrtu IEC iz 1960. godine udešenje iskrišta često predstavlja kompromis između potpune zaštite i kontinuiteta pogona. Taj nacrt IEC preporučuje da omjer između podnosivog udarnog napona U_p (1/50 mikrosekunda) naprave koja se štiti i onog najnižeg napona koji odgovara 100%-tnom preskoku na iskrištu U_i iznosi barem 1,25, tj.:

$$U_p/U_i \geqq 1{,}25$$

Napon U_i ovisi ne samo o razmaku iskrišta već i u izvjesnoj mjeri (do kojih ± 10%) o njegovoj konfiguraciji. Stoga treba iskrište određene konfiguracije ispitati te dobiti krivulju za razmak iskrišta a u ovisnosti od 100%-tnog preskočnog udarnog napona te iskrište udesiti za željeni napon U_i. Gore navedeni omjer 1,25 daje dovoljnu zaštitu uz uvjet da su vodovi na dovoljnoj duljini pred stanicom zaštićeni zaštitnim užetima da se spriječi ulazak u stanicu valova sa suviše strmim čelom kao i uz uvjet da su na sabirnice spojena barem 2 voda. Međutim, u slučaju učinskih sklopaka i nepovoljne konfiguracije mreže udešenje iskrišta prema gornjem uvjetu može biti nespojivo sa zahtjevom da iskrište ne smije proraditi zbog prenapona sklapanja. Ako bi iskrište uzrokovalo prečeste prekide zbog prenapona sklapanja, tada se razmak može povećati, ali najviše dotle da gore navedeni omjer bude barem 1,10. (Što je veći taj omjer, zaštita je bolja, ali su prekidi zbog djelovanja iskrišta češći, što je taj omjer manji, preskoci su rjeđi, ali je opasnost za štićenu opremu veća.)

Ako nema mogućnosti da se iskrište ispita, može se razmak iskrišta odrediti prema vrijednostima iz ove tablice (koja je bazirana na gornjim kriterijima):

Najviši pogonski napon	Podnosivi udarni napon	Nacrt IEC iz 1958.* razmak iskrišta	U_i 100 %	Francuska praksa razmak iskrišta normalni	maksim.	Švicarska praksa razmak iskrišta normalni	maksim.
kV	kV	mm	kV	mm	mm	mm	mm
12	75	40	55	40	60		
24	125	100	95	90	130	100	115
36	170	150	135	120	150	140	165
72,5	325	280	255	280	360	300	340
123 Z	450	470	360	460	550	450	500
123	550	610	440	—	—	540	635
245 Z	900	1070	720	1080	1280	970	1100

Propisi VDE 0111/2.61** određuju razmak iskrišta po sasvim drugim kriterijima. Prema VDE iskrišta služe za snižavanje izolacionog nivoa vanjske izolacije da se spriječe proboji u unutrašnjosti opreme ili preskoci na rastavištima rastavljača. Iskrišta, prema VDE, služe samo za koordinaciju izolacije i ne treba ih smatrati zaštitnim napravama od prenapona. VDE daje ove vrijednosti za iskrišta:

Nazivni napon	Najviši pogonski napon	Razmak iskrišta a	Podnosivi udarni napon 1/50 μs +	−	50%-tni preskočni udarni napon 1/50 μs +	−
kV	kV	mm	kV	kV	kV	kV
10	11,5	86	71	75	79	83
20	23	155	120	125	132	140
30	35	220	150	170	165	190
60	70	400	250	300	280	335
110 Z	125	650	390	450	430	500
110	125	750	435	505	483	560
220 Z	250	1210	675	780	750	860

* Ovaj je nacrt napušten jer se nije mogla postići međunarodna suglasnost.

** »Smjernice za dimenzioniranje i ispitivanje izolacije električnih postrojenja za izmjenične napone 1 kV i više«.

Komandne i druge ploče i pultovi

a) Ploče i pultovi proizvodnje »Rade Končar«

Ploče K: Izvode se uglavnom kao komandne, relejne i signalne ploče te ploče za brojila. Ploče su straga pristupačne, ali se ne mogu ugraditi veći aparati. Na čeonoj strani može doći slijepa shema. Preporučuje se uzeti parni broj polja zbog povoljnije podjele bočnih limenih vezova u kojima su kabelski ormarići. Normalne mjere: Visina 2200 mm, dubina 690 mm, širina 2 × 300, 600, 700, 800 i 900 mm.

Ploče R: Izvode se uglavnom kao niskonaponske razvodne ploče te kao relejne ploče gdje je potrebno ugraditi straga veće aparate. Straga su pristupačne. Normalne mjere: Visina 2200 mm, dubina 510, 690, 790 i 1010 mm, širina 600, 700, 800 i 900 mm.

Ploče Z: To su ploče za montažu na zidu kao manje komandne, relejne, signalne i razvodne ploče te ploče za brojila. Iza ploče se ne ugrađuju nikakvi aparati ni naprave s pokretnim dijelovima, ni one kojima je potreban nadzor, jer je ploča straga pristupačna samo nakon demontaže. Normalne mjere: Širina x visina x dubina: 400 × 600 × 150, 600 × 400 × 150, 600 × 800 × 250, 800 × 600 × 250, 800 × 1200 × 300, 1200 × 800 × 300 mm.

Komandni pultovi PN za komandne prostorije, za upravljanje u stojećem stavu. Prednja visina 800 mm, stražnja 950 mm, dubina 766 mm, normalne širine 600, 800, 1000 i 1200 mm.

b) Mjere komandnih i drugih ploča i pultova i visina ugradnje sprava

u milimetrima, uglavnom prema BBC — Handbuch für Schaltanlagen

	Normalna mjera	Najmanja mjera	Najveća mjera
	mm	mm	mm
Visina ploče	2200	2000	2600
Dubina ploče	500— 700	300	1200
Širina polja	600—1200		
Širina uskog polja	300— 600		
Sredina mjernih instrumenata 144/144	1900		2500
Sredina mjernih instrumenata 100 mm ⌀	1600		2100
Sredina pogona sklopaka	1000—1600		
Sredina ručke stremenastog pogona		600	1900
Okomiti razmak između 2 ručke sklopaka		100	
Sredina komandnih sklopaka	800—1600	600	2000
Sredina ručnih kola za pogon sklopaka	800—1200	600	1400
Sredina ručnih kola za regulatore	800	550	1400
Sredina svjetlosnih i pokaznih javljala	1000—2000	600	3000
Sredina registracionih instrumenata i brojila	1600	1000	1900
Sredina brzih regulatora	1200	700	1800
Visina komandnog pulta	800	700	1000
Visina komandnog pulta s podestom	800/1150	700	1300
Dubina komandnog pulta	700—1000	500	1300
Razmak između komandne ploče i pulta	1000	800	2000
Razmak od prednjeg ruba pulta do komandne sklopke			850

309 Razmaci u rasklopnim postrojenjima

Prema »Tehničkim propisima za izvođenje postrojenja jake struje za pogonski napon iznad 1000 V«, Službeni list FNRJ br. 6/1957, dodatak.

Nazivni napon postrojenja	Najmanji razmak dijelova pod naponom[1])		Razmak između šinja sabirnice[2])		Najmanja visina nezaštićenih vodiča nad podom u hodnicima ili u prostorijama za pristup		Najmanji razmak vodiča od			
							zaštitne ograde (branici)	zaštitne mreže rijetke[3])	guste mreže[4]) ili lim	zaštitne ograde (branici)
	unutra	vani	unutra	vani	unutra	vani	unutra	unutra	unutra	vani[5])
kV	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm
1	40	—	120	—	2500	—	500	108	58	—
3	75	—	150	—	2500	—	500	124	74	—
6	100	—	250	—	2500	—	500	148	98	—
10	125	180	300	—	2500	—	500	180	130	—
20	180	260	350	500	2500	—	500	260	210	500
35	300	400	400[5])	700[5])	2550	2920	500	380	330	560
60	470	580	900	1300	2800	3220	580	580	530	780
110	800	1000	1400	2200	3300	3820	980	980	930	1200
220	—	2200	—	4400	—	5140	—	—	—	2400

Najmanja dozvoljena širina hodnika u rasklopnim postrojenjima visokog napona u zgradama i prostorijama za prilaz:

Svrha hodnika odnosno prostorije	Smještaj ćelija[6]) samo s jedne strane	s obiju strana
Za nadzor	800	1000
Za posluživanje i nadzor	1000	1200

Širina prolaza za kontrolu i poslugu u rasklopnim postrojenjima na otvorenom treba da iznosi barem 1200 mm (mjereno između uzemljenih dijelova aparata, zaštitnih zidova ili nosne konstrukcije), a visina do uzemljenih dijelova iznad prolaza treba da bude barem 2500 mm.

Cijelo područje rasklopnog postrojenja na otvorenom mora biti ograđeno ogradom visokom 1,8 m. Uz unutarnju stranu ograde u pojasu širokom $1500 + 12\,U$ milimetara i visokom 6000 mm ne smije se nalaziti nikakav dio pod naponom (U — nazivni napon u kV).

[1]) To su preskočne daljine ili sigurnosni razmaci (vidi 39, strana 97). **Ovdje** treba naglasiti da **ovi razmaci ne vrijede za aparate u rasklopnim postrojenjima** (npr. za sklopke, rastavljače, transformatore i sl.) koji su ispitani na propisani podnosivi napon. Prema tome razmak pojedinih dijelova pod naponom na sklopki može biti manji nego što je navedeno u ovoj tablici.

[2]) Prema BBC-Handbuch für Schaltanlagen. (Naši tehnički propisi ne propisuju ništa.)

[3]) Otvor mreže 20 do 60 mm.

[4]) Otvor mreže do 20 mm, promjer žice barem 2 mm.

[5]) Podaci iz BBC-Handbucha odnose se na postrojenja 30 kV. Za 35 kV može se uzeti isto (jer su ispitni naponi isti) ili razmake povećati za 10%.

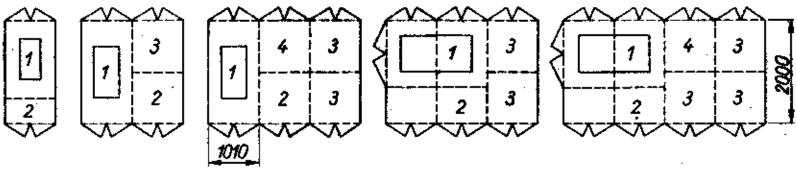
[6]) U tački 52.2.1 citiranih jugosl. propisa navedene se vrijednosti lijevo odnose na »jednospratni« raspored, a desno na »dvospratni« raspored. Ovi se propisi očito oslanjaju na VDE 0101/V.43, koji sadrži iste vrijednosti, ali za »jednostrani« i »dvostrani« raspored ćelija. Autor ovog Priručnika smatra da se u našim propisima radi o pogrešci jer jednospratni ili dvospratni raspored ne utječe na širinu hodnika. (Nažalost, citirani jugoslavenski propisi imaju vrlo mnogo pogrešaka.)

Mjere transformatorskih i rasklopnih stanica

a) Oklopljene (blindirane) transformatorske stanice 10/0,4 kV

1. **Elektrosrbija, Beograd** proizvodi krajnje (oznaka R1, 1 priključni kabel 10 kV), prolazne (oznaka R3, 2 priključna kabela 10 kV) i razvodne (oznaka R4, 3 priključna kabela 10 kV) transformatorske stanice. Mjere: Tip OTS-250/R1 i OTS-250/R3 (za 1 transformator do 250 kVA): 2500×1500×2800 mm (širina × dubina × visina); OTS-400/R1 i OTS-630/R1: 3200×2000×3200 mm; OTS-400/R3, OTS-400/R4, OTS-630/R3, OTS-630/R4: 4300×2000×3200 mm. N. n. razvod smješten je iza transformatora. U v. n. dijelu stanice OTS-250/R1 jesu osigurači i običan rastavljač, a u ostalim stanicama u transformatorskoj ćeliji učinska sklopka, u ostalim ćelijama rastavljači.

2. **EM – Elektroindustrija in splošna montaža, Maribor,** proizvodi krajnje, prolazne i razvodne transformatorske stanice sastavljene od limenih ćelija širine 1010 mm i dubine 2000 mm na ovaj način:



I II III IV V

I – za transformatore do 50 kVA, II i III do 250 kVA, IV i V do 630 kVA. Ako se ugrađuje drugi transformator, onda se on ugrađuje simetrično s druge strane stanice, pa je za to potrebna još 1 ćelija od 1010 mm u stanici III, odn. 2 ćelije u stanici V. 1 – transformator, 2 – niskonaponski razvod, 3 – vodno v. n. polje, 4 – transformatorsko v. n. polje. Polja 3 i 4 mogu imati, prema želji, rastavljač, rastavni osigurač, sklopku-rastavljač, učinsku sklopku ili učinsku sklopku s rastavljačem. Broj v. n. ćelija prema III ili V može biti po volji velik.

3. **Energoinvest, Sarajevo,** proizvodi također krajnje, prolazne i razvodne transformatorske stanice raznih tipova: Tip BTS-3 za transf. do 100 (160) kVA, krajnja, 1730×1570×2200 mm (širina × dubina × visina); BTS-4 do 250 kVA, krajnja, 2320×1570×2200 mm; BTS-5 do 630 kVA, krajnja ili reducirano prolazna, 2840×2040×2200 mm; BTS-42 do 250 kVA, prolazna, 3460×1570×2200 mm; BTS-R, do 630 kVA, razvodna, 4440×2040×2200 mm. Oprema n. n. i v. n. prema želji.

4. **»Rade Končar«, Zagreb,** proizvodi također krajnje, prolazne i razvodne transformatorske stanice, koje imaju sličnu tlocrtnu dispoziciju kao na gornjim skicama. Moguće su vrlo različite kombinacije. Širina ćelije iznosi 1050 mm, dubina (dvostruke) ćelije 2000 mm, a visina TS 2685 mm. Oprema n. n. i v. n. prema želji.

b) Rasklopne ćelije za unutarnju montažu

Zidana TS 10/04, kV prema projektu EM, Maribor, za transformator do 500 kVA i 4 v. n. ćelije (1 trafo-ćelija, 3 vodne), ima ove mjere zgrade: širina 4900 mm, duljina 4900 mm, visina 3450 mm. Mjere v. n. ćelija: širina 850 mm, dubina 850 mm, visina 2115 mm. U ćelije su ugrađene sklopke-rastavljači (učinski rastavljači, rastavljači snage), a ne učinske sklopke.

Norma-blokovi Energoinvesta, Sarajevo, jesu tvornički izrađene, čeličnim limom oklopljene ćelije za visoki odnosno niski napon koje su konstruirane i tipizirane tako da svaki tip ćelije norma-bloka realizira određeni element razvodne sheme. Norma-blokovi su visoki 2250 mm i duboki 1000 mm (izuzetno za veće transformatore 1250 mm). Širina im je različita i ovisi o ugrađenoj opremi: Za ćelije visokog napona ona iznosi 440 (za vertikalne sabirnice, odn. kabelski priključak), 650, 740 i 1000 mm; transformatorske ćelije 1000, 1200 i 1480 mm; za ćelije niskog napona 350 (za sklopke do 320 A), 440 (za sklopke do 800 A) i 600 mm (za sklopke do 2000 A).

»Rade Končar«, Zagreb, proizvodi rasklopna postrojenja za unutarnju monmontažu od tipiziranih ćelija. Tih tipiziranih ćelija ima različitih vrsti: s jednom ili dvije sabirnice*, bez lukobrana ili s njim, bez podruma ili s njim. Navest ćemo mjere tipizirane rasklopne ćelije LBT-10 za jednu sabirnicu, bez lukobrana i bez podruma koja dozvoljava ugradnju hidromatske učinske sklopke 10 kV, 250 MVA: širina 1050 mm, dubina 1000 mm, visina 2600 mm.

* Jedna sabirnica sastoji se od 3 sabirničke šinje. Često se umjesto »jedna sabirnica« kaže »jedan sistem sabirnica«.

311 UZEMLJENJE

Prema »Tehničkim propisima za izvođenje postrojenja jake struje za pogonski napon iznad 1000 V«, Služb. list FNRJ br. 6/1957. (Vidi i VDE 0141/7.55 i 0141/6.61.)

1. Vrsti uzemljenja

Zaštitna uzemljenja. Na ta se uzemljenja uzemljuju slijedeći metalni dijelovi koji normalno nisu pod naponom i ne spadaju u pogonske strujne krugove, ali zbog griješke mogu doći pod napon (makar i preko el. luka): Svi metalni dijelovi el. naprava i aparata; zaštitne mreže i ploče ako nisu vodljivo spojene s uzemljenim dijelovima; metalne konstrukcije metalnih i armirano-betonskih zgrada; ručna kola, poluge i ručke za zagon aparata ako s aparatom nisu spojene direktno već preko lanca, užadi, zupčanika ili vratila koje bi kod kvara mogao zahvatiti električni luk; zidne kuke za pričvršćenje izolatora; metalni plašt i armatura kabela te kabelski zaglavci (glave) i spojnice (kolčaci)*; sekundarni strujni krugovi mjernih transformatora[1]).

U zgradama od cigle, drveta, kamena ili nearmiranog betona ne smiju se uzemljiti metalne konstrukcije (npr. okviri, vrata, kvake na vratima ili prozorima, stepenice, ljestve i sl.) koje se mogu dohvatiti izvana.

Radna (pogonska) uzemljenja. U ta se uzemljenja ubrajaju: a) Uzemljenje namota visokog napona naponskih mjernih transformatora, b) uzemljenje odvodnika prenapona, c) uzemljenje zemljospojnih gasila i zvjezdišnih otpornika generatora i transformatora (uzemljenje mreže preko induktiviteta ili velikog otpora), d) direktno (»kruto«) uzemljenje zvjezdišta generatora i transformatora, e) uzemljenje mutatora.

2. Spajanje raznih vrsti uzemljenja

I. Transformatorske stanice i elektrane iz kojih izlaze i vodovi do 1 kV za opskrbu potrošača

a) TP 36.2.1[2]) i 36.2.2: Zaštitna uzemljenja postrojenja iznad 1 kV i zaštitna uzemljenja postrojenja do 1 kV moraju se spojiti ako se oba postrojenja nalaze u zajedničkim pogonskim prostorijama ili ako su u zgradi koja sadrži noseće konstrukcije postrojenja iznad 1 kV i postrojenja do 1 kV.

b) TP 36.2.1: Kućišta razvodnih ormara koji se poslužuju s vanjske strane stanice ne smiju se spojiti na zaštitno uzemljenje postrojenja iznad 1 kV[3]) niti povezati sa nul-vodičem. Ta se kućišta moraju spojiti na napravu za oblikovanje potencijala smještenu tako da se ormar može dodirnuti tek nakon dolaska na područje s oblikovanim potencijalom.

c) TP 36.2.3: Radna uzemljenja postrojenja do 1 kV treba toliko odijeliti od radnih uzemljenja postrojenja iznad 1 kV da se na prvima ne može pojaviti napon uzemljivača veći od 65 V. Eventualni kabeli iznad 1 kV moraju se u udaljenosti od barem 20 m od zgrade izolirati od zgrade i tla i njihovi plaštevi i armatura izoliraju se od kabelskog zaglavka.

d) TP 36.2.3: Izuzetno od c) mogu se radna uzemljenja postrojenja do 1 kV i iznad 1 kV spojiti ako je mreža iznad 1 kV kabelska i sadrži samo kratke nadzemne vodove za priključke te ako je ispunjen uvjet pod f).

---

* Plašt i armatura kabela moraju biti uzemljeni na oba kraja preko kabelskih zaglavaka. U spojnicama plaštevi i armature kabela moraju biti spojeni međusobno i sa metalnim kućištem spojnice.

1) Ako se pri spajanju nekoliko mjernih transformatora ne može izvesti pojedinačno uzemljenje, tada strujne krugove treba uzemljiti bar na jednom mjestu. (Spoj do zemljovoda barem 4 mm² Cu.)

2) Tehnički propisi, tačka 36.2.1.

3) VDE 0141/6.61, § 26b to dozvoljava, ali također zabranjuje povezivanje s nul-vodičem i traži »roštilj« ispod stajališta (za oblikovanje potencijala, tj. da se smanji dodirni napon ispod 65 V i ako je napon uzemljivača 125 V).

e) TP 36.2.4: Radna uzemljenja naponskih mjernih transformatora i odvodnika prenapona iznad 1 kV moraju se uvijek spojiti sa zaštitnim uzemljenjem postrojenja iznad 1 kV.

f) TP 36.2.5: Radna uzemljenja zemljospojnih gasila i zvjezdišnih otpornika u postrojenju iznad 1 kV ne smiju se spojiti s radnim uzemljenjima postrojenja do 1 kV ako u pogonu napon uzemljivača može prijeći 65 V[1]).

II. Transformatorske stanice i elektrane iz kojih ne izlaze vodovi do 1 kV za opskrbu potrošača[2])

a) TP 36.1.1: Zaštitna uzemljenja postrojenja do 1 kV i iznad 1 kV treba uvijek spojiti.

b) —.

c) TP 36.1.2: Radna uzemljenja postrojenja do 1 kV mogu se spojiti sa zaštitnim uzemljenjima.

d) TP 36.1.5: Radna uzemljenja postrojenja do 1 kV i iznad 1 kV mogu se spojiti ako je ispunjen uvjet pod II f.

e) TP 36.1.3: Kao I e.

f) TP 35.4 i 36.1.4: Radna uzemljenja zemljospojnih gasila i zvjezdišnih otpornika mogu se spojiti na zaštitna uzemljenja uz uvjet da se u pogonu (pa ni pri nazivnoj struji gasila) ne pojavi napon uzemljivača viši do 125 V[3]).

g) TP 36.1.6: U postrojenjima za napon iznad 1 kV sa direktno uzemljenim zvjezdištem[4]) treba sve vrsti uzemljenja međusobno povezati. Od toga treba odstupiti samo onda, ako je uzemljenje zbog kamenitog tla loše. Tada treba radno uzemljenje zvjezdišta postrojenja iznad 1 kV izvesti odvojeno. Zaštitnu užad treba uzemljiti na pripadno radno uzemljenje.

III. Uzemljenje gromobranske zaštite

TP 37.4.1: Zaštitna užeta se spajaju u stanici sa zaštitnim uzemljenjem postrojenja iznad 1 kV, osim u slučaju pod II g.

TP 37.4.2: Ako elektrane ili transformatorske stanice imaju na javno pristupačnim mjestima zemljovode na zgradama, oni moraju biti odvojeni od vodova za zaštitno ili radno uzemljenje i priključeni na posebne uzemljivače.

IV. Postrojenja ispod 1 kV

h) VDE 0140, § 9 i § 20: Zaštitno i radno uzemljenje smiju se spojiti u jedno uzemljenje. Napon uzemljivača ne smije prijeći 65 V. VDE 0140, § 12: U mreži u kojoj se nuluje ili u kojoj se polaže goli nulvodič ne smije se izvesti nikakvo uzemljenje bez vodljive veze s nulvodičem.

3. Specifični otpor tla

Vrst tla	Močvare	Ilovača	Oranica	Vlažan sitan pijesak	Vlažan krupan pijesak	Suh sitan pijesak	Suh krupan pijesak	Šljunak	Kamenito tlo
Ωm	30	100	100	100	200	500	1000	1000	3000

[1]) Ako postrojenje ostaje u pogonu u zemljospoju, napon uzemljivača ne smije ni kod zemljospoja prijeći 65 V. Ako prelazi, radno uzemljenje gasila mora tada biti odijeljeno od radnog uzemljenja postrojenja do 1 kV.

[2]) Postrojenje do 1 kV služi im samo za vlastite potrebe u koje se ubraja i opskrba pomoćnih prostorija te uredskih i stambenih zgrada za vlastito osoblje.

[3]) Inače mora radno uzemljenje biti toliko udaljeno od zaštitnog, da se na zaštitnom uzemljenju ne može pojaviti napon uzemljivača viši od 125 V. Tada treba dovode k radnim uzemljenjima izolirati i zaštititi od dodira. Uzemljenje ne smije ugrožavati ljude, što se postiže ogradom ili ograničenjem napona koraka ispod 90 V pomoću povoljnog postavljanja uzemljivača ili pomoću potenc. oblikovanja.

[4]) Praktički su to kod nas samo postrojenja 110 kV i više.

4. Uzemljivači

Vrst uzemljivača	Najmanji presjeci i polaganje	Otpor uzemljenja u zemlji sa $\rho = 100\ \Omega m$*	
		Mjere uzemljivača	Približno Ω
Trakasti	U postrojenjima do 1 kV pocinčana čel. traka 50 mm², debljine 3 mm. U postrojenjima iznad 1 kV pocinčana čel. traka 100 mm², debljine 3,5 mm, ili pocinčano čel. uže 50 mm², ili bakrena traka 50 mm² debljine 2,5 mm odn. bakreno uže 35 mm²; preporučuje se upotreba pocinčane čelične trake 30 × 3,5 mm. Dubina polaganja u kamenitom terenu 0,5 do 1,5 m, u glinastom ili prianjajućem tlu 0,5 do 1 m. Kod trakastog polaganja najviše 6 krakova.	Duljina 10 m 25 m 50 m 100 m	 20 10 5 3
Šipkasti	Pocinčana čelična cijev od 2" ne tanja od 3 mm, ili pocinč. kutni čelik 65 × 65 × 7 ili pocinč. profilni čelik U 6 ili T 6, ili bakrena cijev 50/44 mm. Uzemljivači se polažu vertikalno u razmaku barem 2 m, a, u pravilu, dvostrukom od aktivne duljine pojedinog uzemljivača.	Duljina 1 m 2 m 3 m 5 m	 70 40 30 20
Pločasti	Pocinčani čelični lim 3 mm ili bakreni lim 1 mm, obično 0,5 × 1 m. Polažu se vertikalno u zemlju tako da je gornji rub barem 1 m duboko. Razmak pojedinih ploča barem 3 m.	Veličina 0,5 × 1 m 1 × 1 m	 45 30

* Ako je specifični otpor tla ρ', tada treba otpore uzemljenja iz tablice pomnožiti sa $\rho'/100$.

Primjedbe: 1. Pocinčanje mora biti izvedeno u vatri. — 2. Ako bi se, izuzetno, upotrijebile nepocinčane čel. cijevi ili nepocinčani čel. profili, tada presjek i debljina moraju biti 50% veći od minimalnih prema gornjoj tablici. — 3. Pločasti uzemljivači se ne preporučuju jer je utrošak materijala za jednaki otpor uzemljenja veći nego kod trakastih ili šipkastih uzemljivača. — 4. Ako se uzemljivači upotrebljavaju samo za oblikovanje potencijala, najmanji dozvoljeni presjek za čelik pocinčan u vatri iznosi 16 mm², a za bakar 10 mm².

Ukupni otpor pojedinih dijelova uzemljivača računa se po formuli za paralelne otpore: $1/R = 1/R_1 + 1/R_2 + \ldots$ Ako se uzemljivač sastoji, na primjer, od 25 m trake i 2 plinske cijevi od po 3 m, tada je: $1/R = 1/10 + 1/30 + 1/30$. Odatle $R = 6{,}1\ \Omega$. Ovaj račun daje samo približne vrijednosti, ali obično dovoljno tačne za proračun ako su razmaci između pojedinih dijelova uzemljivača dovoljno veliki.

5. Dimenzioniranje uzemljenja u postrojenjima visokog napona*

Treba težiti da zaštitno uzemljenje elektrana, transformatorskih i razvodnih stanica bude tako dimenzionirano da se na uzemljivaču ni kod najnepovoljnije struje zemljospoja ne pojavi napon veći od 125 V. Pritom u mreži s izoliranim zvjezdištem treba računati sa cjelokupnom strujom zemljospoja mreže, a u kompenziranoj mreži s onom najvećom strujom koja se u danim prilikama može pojaviti u najnepovoljnijem slučaju[1].

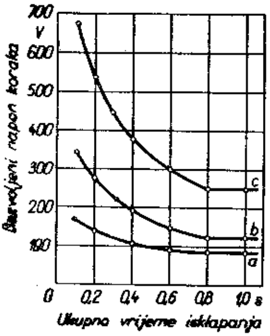
* Za niski napon vidi 333, tačka 1 (str. 565) i tačka 7 (str. 568).

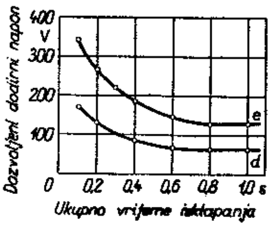
[1] U stanicama gdje su ugrađena zemljospojna gasila a zaštitna i radna uzemljenja su spojena treba računati sa zbrojem struje gasila i preostale struje zemljospoja; ako je zaštitno uzemljenje odvojeno od radnog ili ako u postrojenju nema zemljospojnih gasila, treba računati s preostalom strujom zemljospoja (sve uvijek za najnepovoljniji slučaj).

Ako zbog slabe vodljivosti tla nije moguće udovoljiti gornjem zahtjevu, treba poduzeti dodatne zaštitne mjere: a) izolacija mjesta za posluživanje ili b) mjesta za posluživanje od metala te spojena s ostalim vodljivim dijelovima; pristup na takva mjesta samo preko izoliranog pojasa širokog barem 1300 mm; c) izolacija ručki za posluživanje; d) oblikovanje potencijala (uglavnom za postrojenja 110 kV i više).

Radna uzemljenja treba tako dimenzionirati da napon uzemljivača ne prijeđe 125 V. Ako to zbog slabe vodljivosti tla nije moguće postići, treba postupiti analogno onome što je rečeno za zaštitna uzemljenja.

Napon uzemljivača direktnih uzemljenja zvjezdišta u postrojenjima 110 kV i više smije prijeći 125 V, ali treba podesnim rasporedom uzemljivača i potencijalnim oblikovanjem postići da napon koraka i napon dodira ostaju u granicama navedenim u dijagramima niže:





a) Izvan postrojenja na prometnim putovima.
b) Unutar i izvan postrojenja (osim u slučaju a).
c) Unutar postrojenja na otvorenom, ako se upotrebljavaju gumene čizme probojnog napona barem 2 kV.
d) Izvan postrojenja.
e) Unutar postrojenja.

6. Dozemni vodovi

a) Najmanji dozvoljeni presjeci

Materijal dozemnog voda	Pocinčani čelik	Bakar	Aluminij
Polaganje izvan zemlje	50	16	35
Polaganje u zemlju neizolirano	50	35	nije dozvoljeno

b) Opteretivost strujom (za krajnju temperaturu 150° C)

Presjek	Opteretivost trajnom strujom u A za			Opteretivost jednosekundnom strujom u A za		
	čelik	bakar	aluminij	čelik	bakar	aluminij
16	—	150	—	—	2500	—
25*	—	200	160	—	4000	2500
35	—	250	200	—	5500	3500
50	100	350	250	3000	8000	5000
70	175	—	—	4500	11500	7000
100	200	—	—	6000	16000	10000
200	300	—	—	12500	32500	20000

* Prema VDE 0141/6.61. Naši Tehnički propisi ne sadrže podatke za ovaj presjek. Za sve ostale presjeke opteretivost prema VDE jednaka je kao i prema našim Tehničkim propisima.

312 Rokovi za reviziju i kontrolu transformatorskih i rasklopnih postrojenja*

a) Prema Tehničkim propisima*

1.	Revizija uz izvlačenje jezgre energetskih transformatora**	
	a) transformatora od 1 MVA i većih	1 × u 3 god.
	b) manjih transformatora	1 × u 4 god.
2.	Revizija transformatora iznad 35 kV bez izvlačenja jezgre	2 × godišnje
3.	Revizija transformatora do uključivo 35 kV bez izvlačenja jezgre	1 × godišnje
4.	Kontrola visine ulja u transformatoru	2 × godišnje
5.	Kontrola probojnosti, čistoće, ostarjelosti i kiselinskog sadržaja transformatorskog ulja	1 × godišnje
6.	Kompletna analiza ulja (samo za transformatore 1 MVA i veće)	1 × godišnje
7.	Ispuštanje vode sa dna konzervatora na transformatoru	1 × u 8 mjes.
8.	Kontrola količine i temperature vode za hlađenje transformatora	1 × mjesečno
9.	Čišćenje suhih transformatora od prašine	1 × godišnje
10.	Kontrola zaštite transformatora koja se ne može vršiti u pogonu	
	a) transformatora od 1 MVA i većih	2 × godišnje
	b) manjih transformatora	1 × godišnje
11.	Revizija učinskih sklopaka i rastavljača	1 × godišnje
12.	Kontrola ulja uljnih i malouljnih sklopaka	2 × godišnje
13.	Kontrola djelovanja pogona sklopaka i rastavljača	1 × u 3 mjes.
14.	Kontrola kompresorskih uređaja	1 × u 3 mjes.
15.	Kontrola osigurača	1 × mjesečno
16.	Ispitivanje zaštite koje je moguće za vrijeme pogona	1 × mjesečno
17.	Ispitivanje sve ostale zaštite	1 × godišnje
18.	Kontrola odvodnika prenapona: poslije jačih atmosferskih pražnjenja, inače barem	1 × godišnje
19.	Revizija akumulatorske baterije	1 × u 6 mjes.
20.	Kontrola uzemljenja (u suho godišnje doba)	1 × godišnje
21.	Kontrola odn. revizija svih nespomenutih dijelova transformatorskih i sklopnih postrojenja	1 × godišnje

b) Dopunski podaci prema GDEH*

22.	Revizija mjernih uljnih i malouljnih transformatora uz izvlačenje jezgre	1 × u 5 god.
23.	Kontrola temperature ulja kod transformatora 1 MVA i većih u stanicama s osobljem	dnevno
24.	Kontrola rashladnog uređaja za transformatore s umjetnim hlađenjem	dnevno
25.	Revizija regulacionih mehanizama i kontakata regulacionog transformatora	2 × godišnje
26.	Kontrola rasvjete za nuždu	prilikom svake smjene
27.	Revizija živinih usmjerivača	1 × godišnje
28.	Regeneracija živinih usmjerivača (s vakuum-pumpom)	1 × u 4 god.
29.	Kontrola telefonskog uređaja	1 × u 6 mjes.

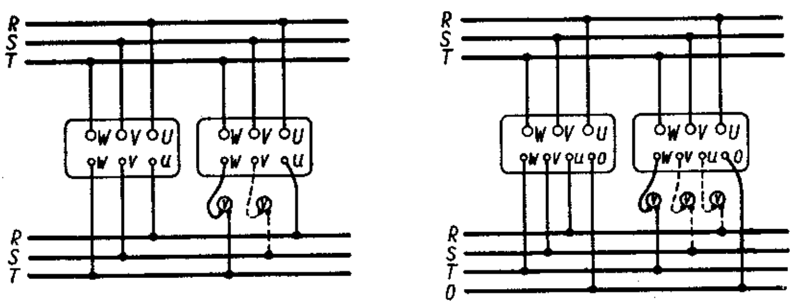
* Vidi primjedbu ispod teksta na strani 525.
** Vidi primjedbu ispod teksta na strani 525.

30. U transformatorskim i rasklopnim stanicama s osobljem treba vršiti dnevnu kontrolu:

a) razine ulja u transformatorima i uljnim sklopkama,
b) signalnog uređaja,
c) akumulatorske baterije i pomoćnog izvora električne energije,
d) telefona,
e) maksimalnog opterećenja transformatora,
f) djelovanja mehanizma regulacionih transformatora,
g) rashladnog uređaja za transformatorsko ulje,
h) kompresorskog uređaja.

Ispitivanje ispravnosti spoja kad se transformator stavlja u paralelni pogon **313**

Ispituje se prema ovoj shemi:



1. Kod transformatora bez izvedenog zvjezdišta: Jedan transformator se normalno spoji prema gornjoj shemi, drugi se priključi samo na strani višeg napona. Na strani nižeg napona spoji se samo jedna faza pa se ispita da li se između stezaljke transformatora i šinje sabirnice, na koju je želimo spojiti, pojavljuje napon. Ako se napon pojavljuje, spoj nije dobar.

Kod niskog napona ispituje se voltmetrom ili žaruljom, koja mora biti za linijski napon (kod 380 V mogu se spojiti u seriju 2 žarulje po 220 V). Kod visokog napona ispituje se pomoću naponskog mjernog transformatora i voltmetra.

2. Kod transformatora sa izvedenim zvjezdištem: Postupak je isti, samo se na sekundarnoj strani spoji zvjezdište transformatora s nul-šinjom odnosno nul-vodičem.

---

* Prema: a) »Tehnički propisi za pogon, održavanje i reviziju elektroenergetskih postrojenja«, Služb. list FNRJ br. 6/1957. — b) Upute bivšeg Biroa za unapređenje elektroprivrede Generalne direkcije za elektroprivredu NRH od aprila 1951. (Navedene su samo za one pozicije gdje Tehnički propisi ništa ne propisuju.)
** Ove su odredbe očigledno prestroge. Vidi preporuke u 170, str. 297.

ELEKTRIČNE INSTALACIJE

314 **Osnovna pravila za izbor i polaganje vodova**
u skladu s jugoslavenskim standardima i jugoslavenskim tehničkim propisima*

Općenito

1. Za električne instalacije i uređaje smiju se upotrebljavati samo goli i izolirani vodovi prema standardima JUS, a dok ovih za pojedine vrsti vodova nema, smiju se upotrebljavati takve vrsti vodova i prema jednom od stranih standarda uz uvjet da ti vodovi nisu lošiji od vodova prema JUS koji se za istu svrhu upotrebljavaju.

Dimenzioniranje vodiča

2. Vodiči moraju biti tako dimenzionirani da se previše ne zagrijavaju. Potreban presjek za pojedina opterećenja daje tablica 322, uz uvjet da temperatura okoline ne prelazi trajno 30° C. U protivnom treba uzeti veći presjek.

3. Presjek vodiča određen je i padom napona koji neka ne prijeđe:

a) u zajedničkom dovodu od uvoda do električnog brojila . . . 1%

b) u rasvjetnim instalacijama od električnog brojila do bilo kojeg rasvjetnog mjesta 2%

c) u motorskim instalacijama od električnog brojila do bilo kojeg motora 5%

Goli vodovi

4. Neuzemljeni goli vodovi u unutarnjim instalacijama smiju se upotrebljavati samo ako je to posebno opravdano (npr. kemijski utjecaji na izolaciju), ali samo uz uvjet da su dovoljno zaštićeni od dodira.

5. Neuzemljeni goli vodovi smiju se postavljati samo na dobra izolaciona tijela uz dovoljan razmak međusobno, od zgrade, željeznih konstrukcija i slično. Razmaci ovise o rasponu, presjeku vodiča i naponu, a u pravilu ne smiju biti manji od slijedećih:

Raspon	Najmanji međusobni razmak vodiča		Najmanji razmak vodiča od zgrade, metalne konstrukcije i sl.
	horizontalno	vertikalno	
m	cm	cm	cm
manje od 2	5	10	5
od 2 do 4	10	15	10
od 4 do 6	15	20	15
veći od 6	20	25	20

* JUS N.B2.702 (Električne instalacije u zgradama), JUS N.C3.200 do N.C3.205, N.C3.220, N.C3.230 i N.C3.235 (Instalacioni provodnici), »Privremeni tehnički propisi za neposredno polaganje provodnika pod lep ili u lep bez naročite mehaničke zaštite« (Službeni list FNRJ br. 29/59).

Razmak između golih vodiča smije biti i manji:

a) ako su vodiči najmanje na svaki metar pričvršćeni na podesnim izolacionim tijelima,

b) ako su vodiči dovoljno kruti i služe za spojne vodove (za akumulatore, razvodne uređaje, sklopke itd.)

Otvoreno polaganje

6. Stalno položeni vodovi (osim vodova za akumulatore) moraju biti zaštićeni od mehaničkog oštećenja svojim položajem ili naročitim pokrivačem. Kao zaštitni pokrivač važi metalna cijev cijevnih vodova (npr. GAT, tj. raniji MGA i sl.), olovni plašt vodova za vlažne prostorije (npr. GO 02. tj. raniji NBU, OG, GOT i sl.*), instalacione obložene cijevi, oklopne cijevi i sl. Prema JUS N.C3.220/VI—1961 i jaki plašt od pvc-mase važi kao zaštitni pokrivač (npr. vod PP, tj. raniji PGP).

7. Cijevni vodovi, vodovi s olovnim vlaštem i vodovi s pvc-plaštem smiju se u suhim prostorijama pričvrstiti neposredno na zidove, metalne konstrukcije i slično, pomoću obujnica. U vlažnim prostorijama, kao i u prostorijama izloženim kemijskim utjecajima, smiju se upotrebljavati samo vodovi za vlažne prostorije i smiju se polagati samo na odstojnim obujmicama.

8. Ako je mjesto polaganja vodova naročito ugroženo od mehaničkih oštećenja, treba da vodovi budu jače zaštićeni.

9. Izolirani vodovi bez zaštite od mehaničkih oštećenja mogu se polagati otvoreno, najmanje 2,5 m iznad poda, na dobra izolaciona tijela ili u cijevi po zidu ili ispod žbuke.

10. Ako se izolirani vodovi polažu otvoreno na izolaciona tijela, treba da međusobni razmak iznosi u suhim prostorijama bar 2 cm, a u vlažnim prostorijama i na otvorenom bar 3 cm, dok razmak vodova od zidova, željeznih konstrukcija i sl. neka iznosi u suhim prostorijama bar 1 cm, a u vlažnim prostorijama i na otvorenom bar 2 cm.

Polaganje u cijevi

11. Cijevi treba položiti tako da se u njima ne može skupljati voda. Pri prolazu kroz pregradni zid, cijevi između vlažne i suhe prostorije treba položiti tako da u njihove otvore ne može prodrijeti vlaga niti se može skupiti voda. Cijevi treba da su od materijala otpornog na vlagu i da su položene s nagibom prema vlažnoj prostoriji. Isto tako i pri polaganju cijevi kroz vanjski zid zgrade, cijev treba da je nagnuta prema van.

12. Vodovi se smiju uvlačiti u cijevi pod žbukom samo ako je žbuka suha.

13. Vodovi u cijevi treba da su tako položeni da se mogu jednostavno izmjenjivati. Stoga, ako je u cijevi više nego jedan vodič, neka unutarnji promjer odgovara podacima tablice 315a odn. 315b (str. 531 i 532).

14. Jednofazni ili višefazni vodovi položeni u cijevi treba da budu tako položeni da svi vodiči jednog strujnog kruga budu u istoj cijevi.

Polaganje u zemlju

15. Vodovi za vlažne prostorije, npr. GO 02 (NBU, OG, GOT) i sl., ne smiju se polagati neposredno u zemlju. U zemlju, pod naponom, smiju se polagati samo vodovi koji su izrađeni kao podzemni kabeli.

---

* Vidi 284 i 285.

Izuzetak za telekomunikacione vodove i vodove malog napona

16. Odredbe pod 9, 10, 14 i 15 ne odnose se na telekomunikacione vodove i vodove malog napona.

Vodovi u kupaonicama

17. Cijevni vodovi i vodovi s olovnim plaštem ne smiju se upotrebljavati u kupaonicama u stanovima (zbog opasnosti od dodirnog napona).*

Upotreba cijevi, obloge ili plašta za zaštitni vodič

18. Metalne cijevi, metalne zaštitne obloge cijevi, metalni plaštevi cijevnih vodova, kabela i kabelu sličnih vodova ne smiju se upotrebljavati kao povratni vodiči niti kao vodiči za uzemljenje ili nulovanje. Gola žica ispod metalnog plašta, takozvana »dodatna žica«, smije se upotrijebiti samo kao dozemni vodič (vodič za uzemljenje)**.

Polaganje u žbuku ili pod žbuku

19. Neposredno u žbuku ili pod žbuku smiju se polagati vodovi s pvc-plaštem (npr. PP/R, PP) ili s plaštem od vulkanizirane gume (npr. PG/R). Pri takvom polaganju vodovi se smiju polagati samo u ravnoj liniji, i to samo horizontalno i vertikalno. Koso polaganje nije dozvoljeno. Horizontalno položeni vodovi treba da su udaljeni, u pravilu, 30 cm od ožbukanog stropa, ali se za povezivanje dviju ili više utičnica može položiti spojni vod horizontalno u udaljenosti od 30 cm od poda. Vertikalno položeni vodovi treba da su udaljeni, u pravilu, 15 cm od zidanog otvora vrata ili od uglova zida. Ako je dva ili više vodova položeno paralelno, razmak između njih neka bude barem 10 mm. Zaštitni sloj žbuke koji se stavlja iznad voda ne smije biti tanji od 6 mm. Vodovi se mogu polagati i poslije grubog žbukanja. — I ovdje vrijede odredbe pod 30 do 33.

Pojedinosti polaganja u zgradama

20. Kroz zidove, stropove i podove moraju se vodiči postavljati tako da budu dovoljno zaštićeni od vlage, toplinskog, mehaničkog i kemijskog oštećenja.

21. Paralelno vođenje električnih vodova sa dimnim kanalima treba izbjegavati, a gdje to ne bi bilo moguće, treba vodove polagati bar 20 cm daleko od dimnjaka.

22. Pri paralelnom vidnom vođenju izoliranih energetskih vodova (u cijevima ili na izoliranim tijelima) sa plinskim, parnim, toplinskim ili vodovodnim cijevima, treba između izoliranih energetskih vodova i cijevi ostaviti razmak od barem 5 cm, a pri ukrštanju od barem 3 cm, i provesti toplinsku izolaciju (azbest) na toplinskim cijevima.

23. Horizontalno polaganje vodova na visini manjoj od 2 m iznad poda treba izbjegavati, a ako je to nemoguće, treba provesti zaštitu od mehaničkih oštećenja.

24. Vodovi treba da su položeni tako da budu uvijek pristupačni za pregled.

25. Ukrštavanje i paralelno vođenje vodova telefonske instalacije i energetskih vodova u zgradama treba izbjegavati. Ukrštavanje mora biti pod pravim kutem, a međusobni razmak mora iznositi bar 10 mm ili treba postaviti izolacioni umetak debeo 3 mm.

---

* VDE 0100/11.58, § 49N. (Jugoslavenski standardi ili propisi nemaju te odredbe premda je ona očigledno opravdana.)

** Propis koji se odnosi na dodatnu žicu je zastario. Golu žicu ne treba upotrebljavati ni kao dozemni vodič pa to npr. VDE (vidi VDE 0100/11.58, § 21b) niti ne dopušta.

26. Ako se horizontalno paralelno polažu energetski vodovi, telefonski vodovi i signalni vodovi (za zvonce) odnosno vodovi malog napona, polažu se energetski vodovi 30 cm ispod stropa, na 10 cm iznad njih signalni vodovi, a na 10 cm iznad ovih telefonski vodovi. Telefonski vodovi moraju biti svakako barem 20 cm udaljeni od energetskih vodova. Razvodne kutije na tim vodovima postavljaju se, u pravilu, jedna prema drugoj koso, pod kutem od 45^0. Signalni vodovi moraju biti postavljeni u posebne cijevi s posebnim razvodnim kutijama tako da su potpuno odvojeni od energetskih vodova.

Prolaz vodova kroz zid

27. Vidi 11. i 20.

28. Pri Prolazu kroz zid vodovi slični kabelu zaštićeni čeličnom trakom (npr. GO 12, tj. raniji NBEU, OGŽ, GOČ) polažu se neposredno u zid, a otvori se zatvaraju cementnom žbukom. Vodovi slični kabelu bez čelične trake (npr. GO 02, tj. raniji NBU, OG, GOT) moraju se zaštititi metalnim cijevima. Preporučuje se da krajevi metalne cijevi ne izlaze izvan zida, već da se završe u zidu, a otvori zida da se zaoble i ispune lakom žbukom.

29. Pri prolazu vodova kroz zid između vlažne i suhe prostorije vodovi za vlažne prostorije moraju se završiti u suhim prostorijama, sa priborom namijenjenim za vlažne prostorije.

Spajanje vodova

30. Vodiči se spajaju stezaljkama i spojnicama s vijcima. Lemljenje vodiča treba izbjegavati u energetskim instalacijama.

31. Na strojeve, aparate, sabirnice i druge naprave vodiči se spajaju pomoću vijaka. Bakrena užad do 6 mm^2 i puni bakreni vodiči do 16 mm^2 mogu se spojiti na vijak pomoću omče, no bakrena užad preko 6 mm^2 može se spojiti pomoću kabelske stopice ili drugog prikladnog sredstva za spajanje. Žice višežičnih vodiča moraju biti međusobno zalemljene na krajevima. Spajanje i grananje vodiča na odgovarajućim mjestima mora biti dobro izvršeno i u mehaničkom i u električkom pogledu. Ta mjesta vodiča moraju biti izolirana za izolirane vodove, po mogućnosti izolacijom jednake vrijednosti kao i sami vodiči (gumena ili gumirana traka).

32. Vodovi se mogu nastavljati samo u spojnim i razvodnim kutijama, a u cijevima je to zabranjeno. I vodovi položeni direktno u žbuku ili pod žbuku (npr. PP/R) smiju se spajati samo u kutijama.

33. Spoj između naprava i vodova ne smije biti izložen mehaničkom naprezanju, a vod na svojim krajevima mora biti mehanički rasterećen.

Instalacione cijevi

315 a

(U skladu sa JUS N.B2.703/1952 i N.E1.010/VIII-1963)

a) Instalacione obložene cijevi (prema JUS N.E1.041/III-1963)*

Zovu ih još šavne, armirane i Bergmanove cijevi. Papirna cijev impregnirana je katranskom masom i prevučena poolovljenim čeličnim plaštem, sa preklopom. **Označuju se uvijek unutarnjim promjerom:**

Nazivni (unutarnji) promjer	9**	11	13,5	16	23	29	36	mm
Vanjski promjer	13	15,8	18,7	21,2	28,5	34,5	42,5	mm
Približna težina	0,10	0,145	0,17	0,21	0,32	0,46	0,60	kg/m

Normalna duljina 3 m.

Mogu se polagati pod žbuku samo tamo gdje ne može doći do mehaničkog oštećenja, u suhim prostorijama, prostorijama prašljivim i djelomično vlažnim kao i u prostorijama za pogon.

* Pribor za ove cijevi vidi u JUS N.E1.042/III — 1963.

** Cijevi ovog promjera nisu standardne pa se prema tome ne smiju više ni proizvoditi ni upotrebljavati.

b) **Instalacione cijevi bez metalnog plašta**

Ove se cijevi mogu izrađivati od impregniranog papira, od tvrde ili meke gume, od stakla ili plastičnih masa i sl. Kod nas se izrađuju od impregniranog papira (impregnirane papirne cijevi ili crne cijevi) i od pvc-mase (nazivi: plastične cijevi, juvidur-cijevi ili cijevi Galdovo*).

Crne cijevi su jednake papirne cijevi impregnirane katranskom smolom kao i kod instalacionih obloženih cijevi, ali nisu obložene čeličnim plaštem. Označuju se također unutarnjim promjerom:

Nazivni (unutarnji) promjer	(9)	11	13,5	16	23	29	36	mm
Vanjski promjer	11,2	13,4	16,1	19	26,2	32,6	40	mm

Normalna duljina 3 m.

Crne cijevi upotrebljavaju se za polaganje u žbuku u zgradama gdje se mogu primjenjivati instalacione obložene cijevi, a za krivine (lukove i sl.) upotrebljavaju se kao nastavak ovih cijevi instalacione obložene cijevi.

Prilikom polaganja crnih cijevi treba upotrebljavati izolacione limom obložene razvodne i prolazne kutije. Za međusobno spajanje cijevi upotrebljavaju se limeni naglavci koji odgovaraju vanjskom promjeru crnih cijevi.

Crne cijevi smiju se izuzetno polagati i vidno, na zidu, u privremenim instalacijama, ali se moraju postaviti na visinu na kojoj ne mogu biti mehanički oštećene.

Plastične cijevi mogu se polagati na žbuku (tip A) i pod žbuku (tip B). Označuju se unutarnjim promjerom:

Nazivni (unutarnji) promjer	11	13,5	16	23	29	36	48	mm
Vanjski promjer tipa A	14	16,5	19	27	33	42	58	mm
Vanjski promjer tipa B	13	15,5	18	25	32	40	52	mm

Normalna duljina cijevi 3 m.

Plastične cijevi savijaju se zagrijavanjem. Spajaju se proširenjem jedne cijevi posebnim alatom nakon zagrijavanja. Alatom za rubno savijanje zarubljuju se tako da nisu potrebne lule ni uvodnice. Za instalacije s tim cijevima upotrebljavaju se obično posebne kutije od pvc-mase.

Plastične cijevi mogu se upotrebljavati svugdje gdje se upotrebljavaju instalacione obložene cijevi.

c) **Instalacione čelične oklopne cijevi** (»stapa-cijevi«) prema JUS N.E1.011/1952.

To su čelične cijevi izvana i iznutra lakirane, iznutra obložene izolacijom od impregniranog papira. Debljina čeličnog oklopa ne smije biti manja od 1,4 mm. Te cijevi imaju na oba kraja narezan specijalan navoj za oklopne cijevi prema JUS M.B0.090, pa se spajaju pomoću spojnica (naglavaka), koljena i kutija. Označuju se oznakom prema JUS:

Oznaka cijevi[1])	9/Re9	11/Re11	13,5/Re13,5	16/Re16	21/Re21	29/Re29	36/Re36	42/Re42
Unut. promj. mm	9	11	13,5	16	21	29	36	42
Vanj. promj. mm	15,2	18,6	20,4	22,5	28,3	37,0	47,0	54,0
Navoj	Re9	Re 11	Re13,5	Re16	Re21	Re29	Re36	Re42
Tež. cijevi kg/m	0,51	0,62	0,69	0,72	1,11	1,72	2,73	3,14

Normalna duljina cijevi 1 do 3 m.

Ove se cijevi polažu pod žbuku ili vidno na zid u svim prostorijama gdje nema isparivanja koja nagrizaju i gdje je potrebno da se vodovi zaštite od mehaničkih oštećenja. One se mogu, izuzetno, polagati i u vlažnim prostorijama vidno po zidu uz uvjet da se naročito brižljivo zabrtve spojevi. Ne smiju se upotrebljavati koljena i T-komadi s poklopcem (JUS N.B2.707,

* Po proizvođaču tvornici »Galdovo«, Sisak.

[1]) Oznaka prema DIN je Pg umjesto Re.

tačka 3.43). Na prolazima kroz zidove cijevi ne smiju dodirivati nikakav zapaljivi materijal pa ih treba uzidati.

U suhim prostorijama ove se cijevi pričvršćuju o zid ili strop pomoću obujmica, a u vlažnim prostorijama treba da budu udaljene 2 do 3 cm od zida ili stropa. Radi zaštite od rđanja cijevi treba premazati sredstvom protiv rđanja (minijem, uljnim ili specijalnim bojama).

d) Izbor veličine instalacionih cijevi prema broju i presjeku vodiča

Presjek vodiča mm²																
	Nad žbukom		Pod žbukom		Nad žbukom		Pod žbukom		Nad žbukom		Pod žbukom		Nad žbukom		Pod žbukom	
	IO	ČO	IO	ČO	IO	ČO	IO	ČO	IO	ČO	IO	ČO	IO	ČO	IO	ČO
	1 G ili 1 G/A				2 G ili 2 G/A				3 G ili 3 G/A				4 G ili 4 G/A			
1	11	—	11	—	11	—	11	—	13,5	—	13,5	—	13,5	—	13,5	—
1,5	11	11	11	13,5	11	13,5	13,5	13,5	13,5	13,5	16	16	16	16	23	21
2,5	11	11	11	13,5	13,5	13,5	16	16	16	16	23	21	23	21	23	21
4	11	11	13,5	13,5	16	16	23	21	16	21	23	21	23	21	23	21
6	11	11	13,5	13,5	23	21	23	21	23	21	23	21	23	21	29	29
10	13,5	13,5	13,5	13,5	23	21	23	21	23	21	29	29	29	29	29	29
16	13,5	13,5	16	16	23	29	29	29	29	29	29	29	29	29	36	36
25	16	16	23	23	29	29	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36
35	23	21	23	23	36	36	36	36	36	36	36	36	48	42	48	42
50	23	21	23	23	36	42	48	42	48	42	48	42	48	—	48	—
70	23	21	29	29	48	42	48	42	48	42	—	—	—	—	—	—
	1 P				2 P				3 P				4 P			
1	11	—	11	—	11	—	11	—	11	—	13,5	—	13,5	—	13,5	—
1,5	11	11	11	13,5	11	11	11	13,5	11	13,5	13,5	16	13,5	16	13,5	16
2,5	11	11	11	13,5	11	11	13,5	13,5	13,5	13,5	16	16	13,5	16	16	16
4	11	11	11	13,5	11	13,5	13,5	13,5	13,5	13,5	16	16	16	16	23	21
6	11	11	11	13,5	13,5	13,5	16	16	16	16	23	21	23	21	23	21
10	11	11	13,5	13,5	16	16	23	21	16	21	23	21	23	21	23	21
16	13,5	13,5	13,5	13,5	23	21	23	21	23	21	29	29	29	29	29	29
25	13,5	13,5	16	16	23	29	29	29	29	29	29	29	29	29	36	36
35	16	16	23	21	29	29	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36
50	23	21	23	21	36	36	36	36	36	36	36	36	48	42	48	42
70	23	21	23	21	42	42	48	42	48	42	48	42	48	—	48	—

Kratice znače: IO - instalacione obložene cijevi, ČO - instalacione čelične oklopne cijevi (»stapa-cijevi«).

Oznake izoliranih vodova vidi u 284 i 285.

Podaci za vodove G i G/A uzeti su iz jugoslavenskog standarda JUS N. B2.703/1952, a podatke za vodove P sastavio je autor na osnovu odgovarajućih vanjskih promjera. Prema spomenutom jugoslavenskom standardu, za ogranke od razvodnih kutija do rasvjetnih mjesta duge do 4 m mogu se upotrijebiti cijevi prethodnog manjeg promjera, ali barem 11 mm.

Za druge vrsti vodova izbor cijevi vrši se na osnovu promjera.

Prema jugosl. standardu za električne instalacije u zgradama JUS N.B2. 701/1952 svaki *strujni krug mora imati fazni vodič i nul-vodič* jednakog presjeka i jednake vrsti izolacije. Prema tome upotreba slabije izoliranog nul-vodiča nije dozvoljena.

315 b

Zaštitne cijevi

a) Čelične cijevi sa preklopom (Pešelove cijevi)

To su cijevi od lakiranog čeličnog lima, sa preklopom, bez unutarnje izolacije, a služe samo za mehaničku zaštitu električnih vodova u suhim prostorijama.

Nazivni (unutarnji) promjer	*14*	*18*	*26*	*37*	mm
Vanjski promjer	15,5	19,5	28	39,5	mm
Težina	0,27	0,36	0,71		kg/m

Normalna duljina cijevi je 3 m.

Ove se cijevi smiju polagati samo u suhim prostorijama, i to samo vidno na žbuku, beton, metalne dijelove i *sl.*, tamo gdje je potrebna samo mehanička zaštita vodova. Cijevi se spajaju spojnicama i lukovima, a uvode se u posebne kutije za Pešelove cijevi.

b) Plinske cijevi

Upotrebljavaju se crne i pocinčane. Crne cijevi moraju biti premazom *zaštićene od korozije. Podatke za te cijevi vidi u* ***104.****, strana 194.*

c) Izbor veličine zaštitnih cijevi prema broju i presjeku vodiča

Presjek vodiča mm²																
	1 G				2 G				3 G				4 G			
	Nad žbukom		Pod žbukom		Nad žbukom		Pod žbukom		Nad žbukom		Pod žbukom		Nad žbukom		Pod žbukom	
	Pe	Pl	Pe	Pl	Pe	Pl	Pe	Pl	Pe	Pl	Pe	Pl	Pe	Pl	Pe	Pl
1,5	14	11	14	11	14	11	14	11	14	11	14	11	18*	11	18	13,5
2,5	14	11	14	11	14	11	14	11	18	11	18	13,5*	18	13,5	18	16
4	14	11	14	11	18	11	18	13,5	18	16*	18	16	26*	16	26	16
6	14	11	14	11	18	13,5	18	16*	26	16	26	21*	26	21*	26	21
10	14	11	18*	11	26	21*	26	21	26	21	26	21	37*	21	37	29
16	18*	11	18	11	26	21	26	21	37	21	37	29*	37	29	37	29
25	18	11	26	16	37*	29	37	29	37	29	37	29	37	29	37	36
35	26*	16	26	16	37	29	37	36	37	29	37	36	—	36	—	36
50	26	21	26	21	37	36	37	36	—	36	—	36	—	—	—	—
70	26	21	26	21	—	36	—	36	—	36	—		—	—	—	—
95	37	36	37	36*	—	—	—	—	—	—	—		—	—	—	—
120	37	36	37	36	—	—	—	—	—	—	—		—	—	—	—

* Za kratke ravne linije do koja 4 m može se uzeti cijev **prethodnog manjeg** promjera.

G – nova oznaka za obični instalacioni gumeni vod (stara oznaka NG).

Kratice: Pe - Pešelove cijevi; Pl - plinske cijevi.

Brojevi u ovoj tablici znače kod Pešelovih cijevi unutarnji (»svijetli«) promjer, a kod čeličnih cijevi nazivni promjer. Tablica je izrađena prema njemačkim podacima.

Upotreba slabije izoliranog nul-vodiča nije kod nas više dozvoljena (vidi primjedbu na prethodnoj strani).

Polaganje cijevi

315 c

Cijevi svih vrsti treba polagati po ravnoj crti, i to samo vertikalno i horizontalno. Koso se cijevi smiju polagati samo izuzetno. Kad se polažu horizontalno, cijevi moraju imati mali pad prema kutijama da se u cijevima ne bi mogla skupljati ili zadržavati voda. Na slobodnim krajevima cijevi treba postaviti uvodnice od porculana ili od drugog izolacionog materijala tako da se ne može oštetiti izolacija kutije kad se uvlači vodič.

Cijevi se mogu polagati i prije žbukanja zidova ako su zidovi suhi.

Polaganje limom obloženih ili papirnih cijevi u blato na tavanu zabranjeno je.

Cijevi položene pod žbuku ne smiju se pokrivati materijom koja bi ih nagrizala. Za prethodno učvršćivanje cijevi prije stavljanja žbuke smije se upotrebljavati gips (sadra) ako su cijevi položene u stalno suhim prostorijama. U prostorijama koje su povremeno vlažne, za prethodno učvršćivanje cijevi ne treba upotrebljavati gips nego cementnu žbuku ili kuke.

Kutije se postavljaju, u pravilu, najviše na svakih 6 m. Između dviju kutija ne smije, u pravilu, biti više od 2 koljena ili 3 krivine.

Kroz istu kutiju smiju se postavljati vodiči i različitih strujnih krugova.

Instalacione sklopke (prekidači)*

316 a

1. Propisi za izvedbu instalacionih sklopaka

a) Instalacione sklopke treba da budu za napon barem 250 V.

b) Instalacione sklopke treba da budu trenutne sklopke i za struju barem 6 A.

c) Kućište instalacionih sklopaka mora biti od izolacionog materijala.

d) Osovina okretne sklopke ne smije biti pod naponom.

e) Motka odn. uzica poteznih sklopaka mora biti od izolacionog materijala, a osim toga mora između nje i sklopke biti međukomad od izolacionog materijala.

f) Na polužnim sklopkama mora biti naznačen položaj »uklopljeno« — »isklopljeno«, a isto tako i na višepolnim doznim sklopkama.

g) Polužne sklopke moraju biti sasvim zatvorene u kućištu i ne smiju imati proreze. Držak mora biti od izolacionog materijala.

2. Propisi za instalaciju

a) Sklopke moraju sklapati istovremeno sve fazne vodiče jednog strujnog kruga. Od toga se izuzimaju:

α) sklopke za pokretna trošila koja se priključuju na utičnice,

β) sklopke u strujnim krugovima trošila,

γ) sklopke za skupine sijalica do 10 A (kod sijalica sa golijat-grlom do 25 A).

b) Nulvodiči se ili uopće ne sklapaju ili se sklapaju prisilno istovremeno sa faznim vodičima. (U električkim i zaključanim električkim pogonskim prostorijama smiju se izuzetno sklapati i odjelito — vidi 332, tačka 2 i 3, str. 562.)

c) Sklopke se **moraju** staviti u vodove

α) koji idu izvan zgrade,

β) koji idu u vlažne prostorije,

γ) koji idu u kupaonice i zahode. Izuzetno mogu se umjesto sklopke pred kupaonicom postaviti potezne sklopke u samoj kupaonici. U zahode ne stavljaj sklopke.

d) Sklopka se stavlja ispred otvorenih osigurača.

---

* U skladu sa JUS N.B2.704/1952.

e) Ispred pokretača i otpornika potrebna je sklopka samo ako se pokretačem odn. otpornikom ne može isklopiti u svim polovima.

f) Sklopke na grlu (»grla sa pipcem«) dozvoljene su samo u suhim prostorijama sa drvenim podom.

g) Polužne sklopke treba priključiti tako da njihovi noževi u isklopljenom položaju ne budu pod naponom.

h) Visina instalacionih sklopaka nad podom obično iznosi oko 1,5 m.

i) U vlažnim prostorijama kao i u prostorijama s vodljivim podom moraju se postavljati sklopke za vlažne prostorije.

j) Nazivna struja sklopaka za strujne krugove sa fluorescentnim sijalicama mora biti barem 10 A.

k) Sklopke i osigurači u prostorijama za publiku u kazalištima, kinima, koncertnim dvoranama, cirkusima, velikim trgovinama i sličnim zgradama moraju biti postavljeni u grupama i ne smiju biti pristupačni nepozvanim licima.

316 b

Instalacione utičnice i utikači[1])

1. Propisi za izvedbu

a) Utičnice i utikači treba da budu za napon barem 250 V.

b) Utičnice treba da budu za struju barem 10 A, utikači za barem 6 A.

c) Kontaktni dijelovi utičnica moraju biti zaštićeni od neposrednog dodira.

d) Utikači ne smiju ići u utičnice više nazivne struje ili višeg nazivnog napona. Izuzetak je utikač za 6 A koji mora ići u utičnicu za 10 A.

e) Utičnice ne smiju, u pravilu, imati osigurače. Ako ih ipak, izuzetno, sadrže, tada rastalni dijelovi treba da budu lako izmjenljivi.

f) Zabranjena je upotreba jednopolnih utikača, odvojnih grla (grla s utičnicom) i odvojnih utikača. (Ovjesne utičnice dozvoljene su.)

g) Kod utičnica sa zaštitnim kontaktom mora zaštitni kontakt biti uspostavljen prije nego dođu u dodir glavni kontakti. U te utičnice ne smije ići obični utikač.

h) Na prenosnim napravama utikač mora biti ugrađen u napravi, a utičnica spojena na pokretni vod. (Stoga ih zovu i »natičnica«, »natikač«).

2. Propisi za instalaciju

a) Isklapanje utikačem dozvoljeno do 250 V prema zemlji i do 10 A*.

b) Ako je napon viši od 250 V prema zemlji utičnice moraju biti blokirane posebnom sklopkom protiv uklapanja i isklapanja pod naponom.

c) Utičnice se postavljaju, u pravilu, u kancelarijama na 0,30 m, a u ostalim prostorijama na 0,80 do 1,20 m iznad poda.

d) U dječjim zabavištima, dječjim odmaralištima i uopće u prostorijama koje su namijenjene djeci utičnice moraju biti zaštićene tako da su za djecu nepristupačne.

e) U vlažnim prostorijama dozvoljene su samo utičnice sa zaštitnim kontaktom. Na otvorenom prostoru (terase, vrtovi, dvorišta i sl.) smiju se upotrebljavati samo utičnice za vlažne prostorije, zaštićene poklopcem.

f) U kupaonicama ne smije biti utičnica.**

---

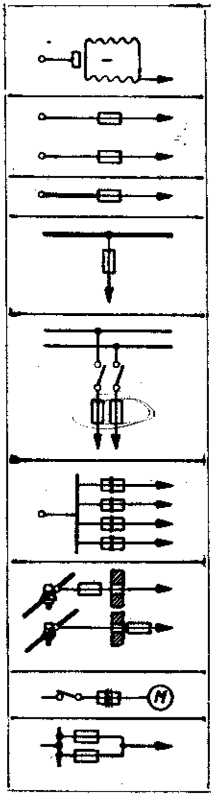
[1] Vidi JUS N.B2.704/1956, N.E0.350/1956 te N.E3.500, 501, 505, 550, 551, 552, 555 — sve iz 1956. godine.

* Prema JUS N. B2. 704/1952. — VDE 0100/11.58 dopušta isklapanje utikačem do 250 V prema zemlji, do 15 A (ranije do 25 A). JUS N.E0.350/1956 (Priključne naprave za domaćinstvo i slične svrhe) predviđa utičnice i utikače do 25 A.

** Ovaj je propis danas neodrživ zbog aparata za brijanje te strojeva za pranje i sušenje rublja. Morat će i JUS dozvoliti upotrebu utičnica sa zaštitnim kontaktom kako to dozvoljava VDE.

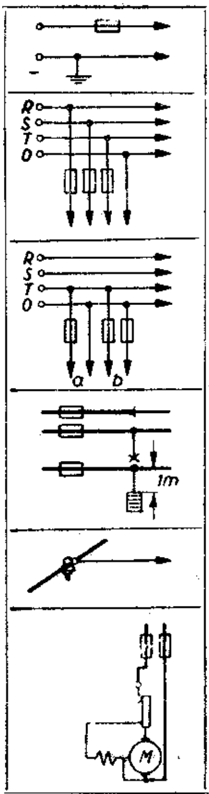
Gdje se osigurava
a gdje se ne mora ili ne smije osigurati?

Gdje se osigurava?



- Trošila se priključuju na navoj osigurača.
- Na početku svakog neuzemljenog vodiča.
- Kad se mijenja presjek vodiča.
- U odvojcima ako je presjek odvojka manji.
- Glavni osigurači, u pravilu, iza sklopke
- Otvoreni osigurači iza sklopke.
- Na pristupačnom mjestu, po mogućnosti centralizirano.
- Kod nadzemnih kućnih priključaka na početku odvojka (rjeđe) ili odmah nakon ulaza u zgradu (običnije).
- Prije trošila s promjenljivom jakošću struje.
- Kod paralelnih vodiča u svakom vodiču.

Gdje se ne mora ili ne smije osigurati?



- Vodiči koji su pogonski uzemljeni ne osiguravaju se.
- Kod višefaznih sistema osigurači se ne smiju postaviti u nulvodič.
- Kod odvajanja samo jednog faznog vodiča i nulvodiča, nulvodič se a) ne osigurava ako se razlikuje po boji, ili se b) osigurava ako se ne razlikuje (nulovanje tada zabranjeno!).*
- Kod promjene presjeka ili tanjih odvojaka ne treba osiguravati ako osigurač na početku štiti i tanji vodič ili ako je odvojak kraći od 1 m.
- Odvojke od nadzemnih vodova i kabela u zemlji te vodiče u sklopnim postrojenjima ne treba neposredno osiguravati.
- Ako bi pregaranjem osigurača nastala opasnost, npr. u uzbudnom strujnom krugu porednog motora.

Osigurači i automatske sklopke ne smiju se postaviti u blizini lako zapaljivih materijala.

Ako se kućni priključak osigura iza ulaza u zgradu, u blizini neosiguranog dijela tog priključka ne smije biti zapaljivih materijala.

---

* Prema JUS N.B2.701 nulvodič mora biti sive boje, tj. mora se razlikovati po boji od faznih vodiča.

317 b

Kako treba osigurati?*

1. Izolirane vodove prema opterećenju, ali najviše osiguračima nazivne struje prema tablici 322.

2. Kabele prema opterećenju, ali najviše tako da opterećenje kabela ne prelazi vrijednosti navedene u tablicama 271 do 274. Prema VDE 0100/11.58 nazivna struja osigurača može biti jednaka trajnoj opteretivosti kabela.

3. Gole vodiče prema opterećenju, ali najviše:

a) gole bakrene vodiče do 50 mm² prema tablici 322 za vodiče III,

b) gole aluminijske vodiče do 70 mm² prema tablici 322 za vodiče III,

c) gole vodiče većih presjeka tako da se ne zagriju suviše pri čemu se mogu koristiti podaci iz tablice 200.

4. Rasvjetne strujne krugove:

a) Vodiče presjeka 1,5 mm² ili većeg osiguračem od najviše 10 A;

b) vodiče presjeka 1 mm² osiguračem od najviše 6 A.

5. Ako su u nekom strujnom krugu samo žarulje sa grlom golijat (E 40), smije se taj strujni krug osigurati i jače nego je to navedeno u tački 4 (ako to presjek dozvoljava).

6. Strujni krugovi sa utičnicama 10 A ne smiju se osigurati osiguračima jačim od 10 A (prema VDE 0100/11.58, JUS to ne traži).

7. Više od 3 utičnice treba svakako izdvojiti u posebni strujni krug. Pri projektiranju treba paziti da jedan strujni krug ne napaja više od 10 sijaličnih mjesta i utičnica u glavnim prostorijama, odnosno 14 sijaličnih mjesta u sporednim prostorijama uz uvjet da pad napona ne prijeđe dozvoljene granice. Ovo se ne odnosi na strujne krugove sa sofitnim i fluorescentnim sijalicama.

8. U zgradama u kojima se skuplja mnogo ljudi (kazališta, kina, koncertne dvorane, cirkusi, velike trgovine) treba u svim prostorijama sa više od 3 sijalična mjesta izvršiti priključak na barem dva zasebna strujna kruga. Od toga se može odustati samo onda ako rasvjeta za slučaj opasnosti daje dovoljno svjetla za opću rasvjetu ovih prostorija. Sklopke i osigurači u prostorijama za publiku u takvim zgradama moraju biti postavljeni u grupama i ne smiju biti pristupačni nepozvanim licima.

9. Kad se rastalnim osiguračima osiguravaju elektromotori, treba voditi računa i o struji pokretanja. Upute za izbor osigurača vidi u 323 i 324. Ako struja pokretanja elektromotora traži jači osigurač nego što to odgovara presjeku voda, treba pojačati vod.

10. Kod isprekidanog (intermitiranog) pogona nazivna struja osigurača smije biti veća nego prema tablici 322 ako se proračunom dokaže da se vodiči neće suviše grijati.

11. Automatske sklopke ne mogu zamijeniti glavne osigurače kućnog priključka ni glavne osigurače motorskih instalacija (JUS N.B2.704, tačka 4.3).

12. Rastalni umeci moraju biti izrađeni tako da je nemoguće zabunom upotrijebiti umetke za veću struju nego što je za taj slučaj bilo predviđeno.

13. Zabranjena je upotreba krpanih ili žicom kratko spojenih osigurača.

14. Osigurači sa lamelama (NH-osigurači) smiju se upotrebljavati samo u razvodnim postrojenjima.

15. Sve instalacije treba da su, u pravilu, centralizirane u pogledu osiguranja (vidi i 317a). Centralizacija se ne mora sprovesti u instalacijama s većim brojem motora. Osigurače treba na razvodnoj ploči rasporediti tako da se može razabrati kojoj grani pripada svaki od osigurača (po potrebi treba obilježiti strujne krugove, vidi JUS N.B2.701, tačka 1.85).

16. O osiguranju automatima vidi i 320, strana 541.

---

* Vidi JUS N.B2.701/1952 i N.B2.702/1952 (Električne instalacije).

Instalacioni osigurači

a) Nove oznake dijelova osigurača (JUS N.E5.005/X-1962)

Svi dijelovi osigurača za instalacije nazivnog napona 500 V+ dobivaju oznaku D i rimski broj koji ovisi o nazivnoj struji: I za 25 A, II za 63 A, III za 100 A, IV za 200 A, te broj standarda JUS po kojemu su izrađeni. Npr. osnove za priključak sprijeda izrađuju se po JUS N.E5.030 (D II i D III); N.E5.031 (D IV i D V), osnove za priključak straga izrađuju se po JUS N.E5.032 (D II i D III) i N.E5.033 (D IV i D V). Kape se izrađuju po JUS N.E5.040 (D II i D III) i N.E5.041 (D IV i D V). Rastalni umeci (ulošci, patrone) izrađuju se po JUS N.E5.050 (D II i D III) i N.E5.051 (D IV i D V). Kalibarski prstenovi se izrađuju po JUS N.E5.060 (D II i D III) i N.E5.061 (D IV i D V). Potpuna oznaka za osnovu za priključak sprijeda nazivnog napona 63 A jest: Osnova D III JUS N.E5.030. Potpuna oznaka za brzi umetak 16 A jest: Umetak D II/16 JUS N.E5.050. Potpuna oznaka za tromi umetak 50 A jest: Umetak D III/50 tromi JUS N.E5.051.

b) Dosadašnje oznake dijelova osigurača

Osnove osigurača[1])				Rastalni umeci[2])		Prisjedni ulošci [2]) [3])	Kalibarski prstenovi do A	Pripadne glave osigurača	Navoj[4])
univerzalne, priključak sprijeda	za razv. ploče, priključak straga	za zatvorene osigurače	za nadzemne vodove	brzi	tromi				
(UZ15)*	-	(EZ15)*		(D I)*		(S I*)	(15)	(K I)*	(E 14)
UZ 25t UZ 25r	TZ 25t TZ 25r	EZ 25 EZ 25n	FZ 25	D II	Dt II	S II	25	K II	E 27
UZ 60	TZ 60	EZ 60 EZ 60n	FZ 60	D III	Dt III	S III	60	K III	E 33
UZ 100	TZ 100	—	—	D IV	Dt IV	P IV	100	K IV	R 1¼"
UZ 200	TZ 200	—	—	D V	Dt V	P V	200	K V	R 2"

c) Nazivne struje rastalnih umetaka (uložaka, patrona)

Umeci D II: 2 — 4 — 6 — 10 — 16 — 20 — 25 A. Umeci D III: 35 — 50 — 63 A. Umeci D IV: 80 i 100 A. Umeci D V: 125, 160 i 200 A. (Umjesto 16 i 63 A dosada su se upotrebljavale nazivne struje 15 i 60 A.)

c) Označne boje rastalnih umetaka osigurača

2 A - ružičasta, 4 A - smeđa, 6 A - zelena, 10 A - crvena, 15 A - siva, 20 A - modra, 25 A - žuta, 35 A - crna, 50 A - bijela, 60 A - bakrena, 80 A - srebrena, 100 A - crvena, 125 A - žuta, 160 A - bakrena, 200 A - modra.

d) Ispitne struje rastalnih umetaka (JUS N.E5.005/X-1962)

Nazivna struja I_n A	Mala ispitna struja A	Velika ispitna struja A	Trajanje ispitivanja sek.
2, 4	1,5 I_n	2,1 I_n	1
6, 10	1,5 I_n	1,9 I_n	1
16, 20, 25	1,4 I_n	1,75 I_n	1
35, 50, 63	1,3 I_n	1,6 I_n	1
80, 100, 125	1,3 I_n	1,6 I_n	2
160, 200	1,3 I_n	1,6 I_n	3

Umeci se najprije ispituju na izdržljivost sa 100 ciklusa: 1 sat uključen, ¼ sata isključen. Struja ispitivanja 1,2 × nazivna za umetke do 10 A, 1,12 × nazivna za 16 do 25 A, 1,08 × nazivna za 35 do 200 A. Zatim se ohlade pa ispituju malom ispitnom strujom pri čemu se ne smiju rastaliti. Zatim se ponovo ohlade i ispituju velikom ispitnom strujom pri čemu se moraju rastaliti.

+ JUS sadrži i novu seriju osigurača sa oznakom B za napon do 250 V.

* Više se ne proizvode, ali se još mogu naći u starim instalacijama.

1) Oznake: UZ 25t i TZ 25t — tiskani navoj; UZ 25r i TZ 25r — rezani navoj; UZ 60 do 200 i TZ 60 do 200 imaju rezani navoj; EZ 25 i EZ 60 — bez priključka na nulvodič; EZ 25n i EZ 60n — sa priključkom na nulvodič.

2) Oznaci treba dodati nazivnu struju u A (npr. D II 15, P IV 80).

3) S — prisjedni vijak, P — prisjedni prsten.

4) Navoj E je Edisonov navoj (standardiziran u JUS M.B0.086/1952). Navoj R je cijevni navoj (standardiziran u JUS M.B0.056/1952).

e) Vrijeme do prekida struje brzih osigurača*

Nazivna struja rastalnog umetka I_n	Vrijeme do prekida struje kod					
	2,5 I_n		3 I_n		4 I_n	
	barem	najviše	barem	najviše	barem	najviše
A	s	s	s	s	s	s
6	0,2	7	0,08	1,6	0,02	0,3
10	0,3	8,5	0,12	2,2	0,04	0,55
16	0,35	9	0,14	2,5	0,05	0,55
20	0,35	10	0,15	2,8	0,07	0,8
25	0,6	12	0,25	3,5	0,10	1,1
35	1,0	16	0,40	5,6	0,13	1,4
50	1,2	20	0,40	7,0	0,18	1,8
63	1,5	24	0,60	8,0	0,20	2,0
80	2,5	34	—	—	0,25	2,5
100	3,0	40	—	—	0,30	3,0
125	4,0	46	—	—	0,40	4,0
160	5,0	55	—	—	0,50	4,5
200	6,5	65	—	—	0,55	5,0

f) Vrijeme do prekida struje tromih osigurača*

Nazivna struja rastalnog umetka I_n	Vrijeme do prekida struje kod					
	2,5 I_n		3 I_n		$4I_n$	
	barem	najviše	barem	najviše	barem	najviše
A	s	s	s	s	s	s
6	15	120	3,0	20	0,6	2,5
10	16	120	3,5	23	0,9	3,6
16	17	120	4	25	1,1	4,0
20	19	130	6	28	1,3	4,5
25	22	140	8	34	1,8	6,1
35	25	150	8	34	2,0	6,1
50	25	150	10	40	3,0	9
63	25	150	10	40	3,0	9
80	35	180	—	—	3,6	11
100	41	210	—	—	4,0	13
125	48	250	—	—	4,8	15
160	57	300	—	—	5,5	18
200	67	360	—	—	6,3	19

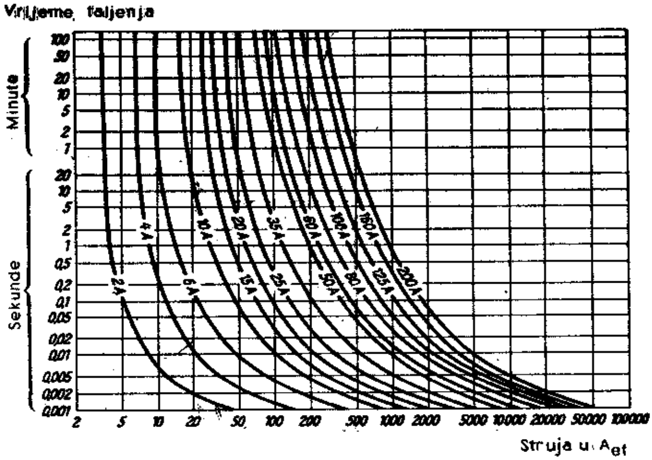
* Prema VDE 0635/1.59. Novi propisi VDE 0635/3.63 ne sadrže više ove tablice. Prema tim propisima vrijeme taljenja kod 7-struke nazivne struje (za uloške 2 i 4 A kod 5-struke nazivne struje) brzih rastalnih umetaka ne smije biti manje, a tromih rastalnih umetaka veće od ovih vrijednosti:

I_n	2, 4	6, 10	15 — 25	35 — 60	80 — 125	160, 200	A
t	0,05	0,1	0,15	0,2	0,35	0,5	s

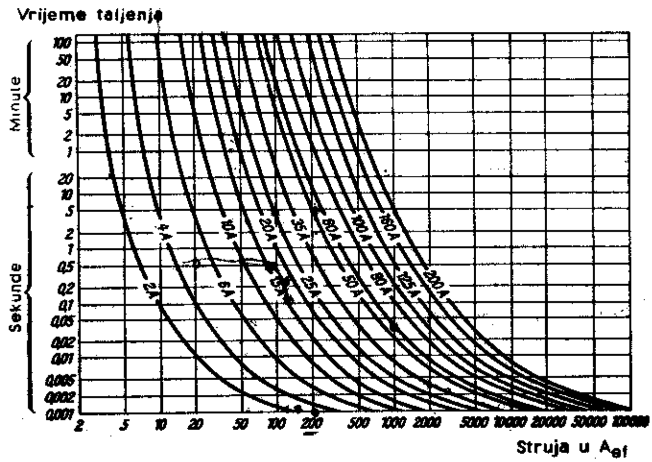
Osim toga vrijeme taljenja brzih rastalnih umetaka kod 1,75-struke nazivne struje ne smije biti kraće od 10 s, a tromih rastalnih umetaka kod 5-struke nazivne struje ne duže od 6 s.

g) Karakteristike taljenja brzih i tromih rastalnih umetaka

(Vrijeme taljenja u ovisnosti o struji opterećenja odnosno struji kratkog spoja)



Karakteristike struja-vrijeme taljenja za brze osigurače*



Karakteristike struja-vrijeme taljenja za trome osigurače*

* Prema podacima poduzeća Siemens-Schuckert-Werke A. G.

h) Podaci o srebrnim žicama za rastalne osigurače do 1 kV

Nazivna struja osigurača A	Promjer žice mm	Presjek žice mm^2	Najmanji dozvoljeni presjek voda[1]) mm^2 Cu	Masa žice g/m
2	0,08	0,005	0,75	0,055
4	0,12	0,013	0,75	0,14
6	0,18	0,025	1	0,28
10	0,27	0,057	1,5	0,60
15	0,35	0,096	2,5	1,01
20	0,41	0,132	4	1,4
25	0,47	0,174	6	1,9
35	0,58	0,264	10	2,8
50	0,80	0,503	16	5,3
60	1,0	0,786	16	8,7
80	1,25	1,23	25	12,9
100	1,4	1,54	35	17,0
125	1,5	1,77	50	18,6
160	1,8	2,55	70	27,0
200	2,2	3,80	95	40,0
225	2,4	4,52	120	48,0

1) Vidi tablicu 322.
Vrijednosti u tablici treba smatrati približnim.

319 Struja taljenja vrlo tankih žica

Materijal	Specif. otpor $\Omega mm^2/m$	Promjer mm 0,2 A	0,15 A	0,10 A	0,08 A	0,06 A	0,04 A	0,02 A
Srebro (900)	0,016	6,3	4,7	3,1	2,4	1,7	1,00	0,41
Bakar	0,0178	5,8	4,3	2,8	2,2	1,6	0,97	0,38
Aluminij	0,0314	4,9	3,6	2,4	1,9	1,3	0,83	
Mjed	0,085	3,9	2,9	1,9	1,5	1,1	0,72	0,31
Nikal	0,097	3,1	2,3	1,5	1,2	0,89	0,57	0,25
Željezo	0,1	1,55	1,15	0,76	0,6	0,45	0,29	0,125
Čelik	0,242	1,5	1,1	0,75	0,59	0,43	0,28	0,125
Nikelin	0,38	3,2	2,4	1,5	1,2	0,82	0,48	0,15
Manganin	0,38	3,3	2,5	1,6	1,3	0,94	0,60	0,27
Konstantan	0,47	2,8	2,1	1,4	1,07	0,79	0,49	0,21

Ova je tablica složena po podacima firme Hartmann & Braun, Frankfurt a. M. Vrijednosti struje taljenja treba smatrati približnim.

Automati za zaštitu vodova i trošila

prema VDE 0641/2.60 i 0643/10.53

320

A u t o m a t i s n a v o j e m E 27 za uvijanje u osiguračke elemente *(UZ ili TZ), za nazivne struje 6, 10 i 15 A, 380 V.*

A u t o m a t i s p o d n o š k o m za fiksnu montažu, za nazivne struje, 6, 10, 15, 20 i 25 A, 250 ili 380 V.

Automati imaju obično osim bimetalnog okidača i brzi elektromagnetski okidač koji isklapa kod kratkog spoja.

Nazivna struja automata	A	6	10	15	20	25
Ispitna struja kod koje automat unutar 1 sat ne smije isklopiti	A	10	14	20	25	30
Isklapanje unutar 1 sat kod	A	12,5	18	25,5	32	38,5
Pripadni najmanji presjek zaštićenog vodiča (prema *VDE 0100/11.58)*	mm^2	*1*	*1*	*1,5*	*2,5*	*4*

Prema VDE 0100/11.58 (§ 20 A) mogu se u rasvjetnim strujnim krugovima za sijalice sa grlom E 27 upotrijebiti automati do 15 A, ako je presjek vodiča barem 1,5 mm2 Cu te ako u takvom *krugu* nema utičnica ispod 15 A i ako vodovi u svjetiljkama imaju presjek barem 0,75 mm2 Cu. Presjek gajtana za priključak pokretnih trošila mora tada iznositi barem 1 mm2 ako je struja trošila veća od 10 A. Automati do 15 A dozvoljeni su i za strujne krugove sa fluorescentim sijalicama (§ 39 N).

Automati moraju biti građeni za struju kratkog spoja od 1000 A za istosmjernu struju i / ili 1500 A za izmjeničnu struju. Nazivna struja tromog osigurača pred automatom smije *iznositi najviše* 100 A.

Proizvođač automata treba da navede onu n a j m a n j u *nazivnu struju* osigurača koja je potrebna da automat isklapa prije osigurača.

Z a š t i t a o d d o d i r a kod kućnih instalacija. Automati koji služe u kućanstvu isklapaju *momentalno* ako struja prijeđe 2,5-puta nazivnu struju automata. Da se ispuni uvjet iz 332 tačka b3 (str. 565), mora otpor uzemljenja iznositi:

Nazivna struja automata	10	15	20	25	A
Potreban otpor uzemljenja najviše	1,9	1,3	1,0	0,75	Ω

Tada kod kvara *izolacije na* nekom aparatu automat prekine strujni krug prije nego dodirni napon dosegne 50 V.

Selektivnost zaštite od kratkog spoja

321

P r i n c i p : Uvijek onaj osigurač odnosno automat treba da prekine strujni krug koji je bliže mjestu kvara, dok ostali ne smiju djelovati. Stoga se karakteristike osigurača i automata u seriji ne smiju ukrštavati.

P r a v i l a za spajanje osigurača i automata u seriju (jedan iza drugoga): a) mali automati s elektromagnetskim brzim isklapanjem ne smiju se spajati u seriju jer kod kratkog spoja isklapaju svi istovremeno. — b) Brzi (obični) osigurači treba da se razlikuju *barem za 2 stupnja* (npr. ako je odvojak osiguran sa 10 A, glavni osigurač treba da bude barem 20 A). — c) Tromi osigurači treba da se razlikuju barem za 1 stupanj. — d) Brzi osigurači neka se ne ugrađuju ispred tromih. — e) Ispred automata bolje je upotrijebiti trome osigurače. — *f) Nazivnu struju osigurača ispred automata treba odrediti* prema podacima proizvođača automata. Za orijentaciju može poslužiti (AEG-Elfa-L-automat):

Selektivnost zaštite od kratkog spoja (nastavak)

Nazivna struja automata		6	10	15	20	25	A
Nazivna struja osigurača	tromog	15	20	25	35	50	A
	brzog	20	25	35	50	60	A

322

Opteretivost strujom izoliranih vodova i izbor osigurača

a) Pri osiguranju rastalnim osiguračima

Prema jugoslavenskom standardu JUS N.B2.703/1952

Presjek vodiča		Nazivna struja osigurača i najveća dozvoljena trajna struja opterećenja			Presjek vodiča		Nazivna struja osigurača i najveća dozvoljena trajna struja opterećenja		
Cu	Al[1])	Vodiči I	Vodiči II	Vodiči III	Cu	Al[1])	Vodiči I	Vodiči II	Vodiči III
mm²	mm²	A	A	A	mm²	mm²	A	A	A
0,75	—	—	10	10	50	70	100	125	160
1	—	6	10	15*	70	95	—	160	200
1,5	2,5	10	15*	20	95	120	—	200	225
2,5	4	15*	20	25	120	150	—	225	260
4	6	20	25	35	150	185	—	260	300
6	10	25	35	50	185	240	—	300	350
10	16	35	50	60*	240	300	—	350	430
16	25	50	60*	80	300	400	—	430	500
25	35	60*	80	100	400	500	—	—	600
35	50	80	100	125	500	—	—	—	700

Vodiči I: Cijevni vodovi (npr. GMT, PMT**), vodovi položeni u cijevima (npr. G, P, G/A**), i to do 3 vodiča u jednoj cijevi. Kod trofaznog sistema s nulvodičem i za 4 vodiča u jednoj cijevi, pa i za 5 vodiča u jednoj cijevi ako je jedan od njih zaštitni vodič.

Vodiči II: Vodovi slični kabelu, oklopljeni vodovi, višežilni vodovi montirani slobodno u zraku i višežilni vodovi za priključak pokretnih trošila (npr. GO 02, GO 04, GO 12, GO 14, PO 02, PO 04, PO 12, PO 14, GT, GT/P, GT/U, GG/L, GGT/L, GG/J, GG, PL, PP/J**).

Vodiči III: Jednožilni vodovi montirani slobodno u zraku s međusobnim razmakom barem jednakim vlastitom promjeru, jednožilni vodovi za priključak pokretnih trošila, goli vodiči do 50 mm² Cu odn. 70 mm² Al.

Pri osiguranju rastalnim osiguračima najveća dozvoljena trajna struja opterećenja jednaka je nazivnoj struji osigurača.

Struje navedene u gornjoj tablici vrijede prema jugosl. standardu uz uvjet da temperatura okoline nije viša od 30° C (prema VDE 25° C). Smanjenje opterećenja pri višim temperaturama vidi na narednoj strani.

Podatke za opteretivosti kabela vidi u 271 do 274.

1) Vrijednosti za aluminij nisu sadržane u jugosl. standardu, već su uzete iz VDE 0100/11.58 (Bestimmungen für das Errichten von Starkstromanlagen mit Nennspannungen unter 1000 V — Odredbe za izgradnju postrojenja jake struje s nazivnim naponima ispod 1000 V). Propisi VDE sadrže jednaku tablicu kao i jugosl. standard, samo što osim presjeka bakrenih vodiča sadrže i presjeke aluminijskih vodiča.

* Umjesto ovih osigurača mogu se upotrijebiti novo standardizirani osigurači od 16 odn. 63 A.

** To su nove oznake izoliranih vodova prema JUS N.C0.006/1962. Usporedbu sa starim oznakama vidi u 284.

b) Pri osiguranju automatskim sklopkama

Prema VDE 0100/11.58

Presjek vodiča	Najveća dozvoljena trajna struja opterećenja					
	Vodiči I		Vodiči II		Vodiči III	
	Bakar	Aluminij	Bakar	Aluminij	Bakar	Aluminij
mm^2	A	A	A	A	A	A
0,75	—	—	13	—	16	—
1	12	—	16	—	20	—
1,5	16	—	20	—	25	—
2,5	21	16	27	21	34	27
4	27	21	36	29	45	35
6	35	27	47	37	57	45
10	48	38	65	51	78	61
16	65	51	87	68	104	82
25	88	69	115	90	137	107
35	110	86	143	112	168	132
50	140	110	178	140	210	165
70	—	—	220	173	260	205
95	—	—	265	210	310	245
120	—	—	310	245	365	285
150	—	—	355	280	415	330
185	—	—	405	320	475	375
240	—	—	480	380	560	440
300	—	—	555	435	645	510
400	—	—	—	—	770	605
500	—	—	—	—	880	690

Vodiči I — Vodiči II — Vodiči III: vidi tekst ispod tablice na prethodnoj strani.

Jugoslavenski standard JUS N.B2.702/1952 ne predviđa mogućnost da se vodiči osigurani automatskim sklopkama mogu jače opteretiti nego kad su osigurani osiguračima. Stoga bi se trebalo i u slučaju takvog osiguranja držati tablice na prethodnoj strani.

Ako je temperatura prostorija viša od 30° C, treba dozvoljeno opterećenje smanjiti:

Temperatura prostorije:	35°	40°	45°	50°	55°	60° C
Opterećenje treba smanjiti na:	92	85	75	65	53	38 %

323

Najveće dozvoljene nazivne struje motora

za trajanje zaleta

Vrst motora	Broj polova	Struja uklapanja I_n ×	Redni broj
Trofazni kavezni motor, direktno uklapan, zaštićen od kapanja vode	2	6,0 do 6,5	1
	4—6	5,3 do 5,8	2
	8 i više	3,5 do 4,2	3
Trofazni kavezni motor, direktno uklapan, posve zatvoren	2	6,5 do 7,0	4
	4—6	6,3 do 6,6	5
	8 i više	3,5 do 5,3	6
Trofazni kavezni motor sa sklopkom zvijezda-trokut[4])	2	2,3 do 2,6	7
	4—6	1,8 do 2,4	8
	8 i više	1,3 do 1,8	9
Trofazni motor s kliznim kolutima ili centrifugalnim pokretačem	Zalet sa 100 do 150% zakretnog momenta		10
	Zalet sa 200% zakretnog momenta		11
Istosmjerni motor	direktno uklapan		12
Istosmjerni motor s pokretačem	Zalet sa 100 do 150% zakretnog momenta		13
	Zalet sa 200% zakretnog momenta		14

* Za osigurače 16 odn. 63 A prema novom standardu JUS smiju struje biti razmjerno veće.

1) Ako zalet traje dulje ili kraće, treba vrijednost u tablici pomnožiti s faktorom preračunavanja prema pomoćnoj tablici na strani 545 desno dolje. Pritom nazivna struja motora smije biti najviše jednaka nazivnoj struji osigurača.

2) Kod trajnog pogona.

3) Za nazivne struje iznad 60 A neka posluži tablica 324.

4) Uz pretpostavku ispravnog preklapanja pri zaletu, npr. uz upotrebu automatske preklopke. Inače nazivna struja motora ne smije biti tako velika, odnosno treba uzeti jači osigurač.

Podaci prema priručniku S. Hopferwieser, Elektromotoren und elektrische Antriebe, izdanje poduzeća Brown, Boveri & Cie, Baden, 1944.

u ovisnosti o nazivnim strujama brzih i tromih osigurača **323**

do 5 sekunda[1])

Redni broj	Najviše dozvoljene struje motora[2]) u amperima za nazivne struje													
	brzih osigurača (ampera)							tromih osigurača (ampera)						
	6	10	15*	20	25	35	50	6	10	15*	20	25	35	50
1	2,0	3,2	5,0	7	9	12,5	17,5	3,0	4,6	7,5	10	13	17,5	25
2	2,2	3,7	5,7	7,5	9,5	13,5	19,5	3,2	5,5	8,5	11	14	19	28
3	3,3	5,8	8,2	10,5	13,5	18,5	26	4,7	8,5	12	15	20	26	38
4	1,8	3,2	4,6	6,2	8,0	11	15,5	2,6	4,5	6,5	9	11	15,5	22,5
5	1,9	3,3	4,8	6,4	8,2	11,5	16	2,7	4,7	7	9,5	12	16,5	24
6	3,3	5,8	8,1	10	12	15	21	4,7	8,5	12	14	18	21	30
7	5	8,5	13	17	21	30	43	6	10	15	20	25	35	50
8	6	10	15	20	24	33	47	6	10	15	20	25	35	50
9	6	10	15	20	25	35	50	6	10	15	20	25	35	50
10	5	8	13	18	23	33	47	6	10	15	20	25	35	50
11	4	7	11	15	19	26	37	6	10	15	20	25	35	50
12	1,7	3,0	4,5	6,5	8	11,5	16,5	2,5	4,5	6,5	9	12	15,5	22,5
13	5	8	13	18	23	33	47	6	10	15	20	25	35	50
14	4	7	11	15	19	26	37	6	10	15	20	25	35	50

Za nazivnu struju osigurača 60 A[3]) dozvoljavaju se ove najveće nazivne struje motora u A

Redni broj	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Brzi	21	23	32	19	20	25	50	55	60	55	45	20	55	45
Tromi	30	33	46	27	28	36	60	60	60	60	60	28	60	60

Nazivna struja osigurača	6	10	15	20	25	35	50	60
Faktor preračunavanja za trajanje zaleta 1 s	1,15	1,15	1,2	1,3	1,4	1,5	1,7	1,8
10 s	0,95	0,95	0,90	0,90	0,90	0,87	0,82	0,80
30 — 100 s	0,90	0,90	0,85	0,85	0,85	0,80	0,80	0,80

324

Nazivna struja osigurača i presjek dovoda za trofazne elektromotore*

Nazivna snaga motora		Struja motora pribl.	Kavezni motori, direktno uklapani, vrijeme zaleta do 5 sek.				Kavezni motori + sklopka Y—Δ ili motori s kliznim kolutima+pokretač			
			brzi osigurači¹)		tromi osigurači¹)		brzi osigurači¹)		tromi osigurači¹)	
kW	KS	A	A	mm²	A	mm²	A	mm²	A	mm²
0,125	0,17	0,4	2	1,5	2	1,5	—	—	—	—
0,2	0,27	0,6	2	1,5	2	1,5	—	—	—	—
0,33	0,45	0,85	2	1,5	2	1,5	—	—	—	—
0,5	0,69	1,3	4	1,5	2	1,5	4	1,5	2	1,5
0,8	1,09	2	6	1,5	4	1,5	6	1,5	4	1,5
1,1	1,5	2,5	10	1,5	4	1,5	6	1,5	4	1,5
1,5	2,05	3,3	10	1,5	6	1,5	6	1,5	6	1,5
2,2	3	4,7	15	2,5	10	1,5	10	1,5	6	1,5
3	4,1	6,2	20	4	10	1,5	15	2,5	10	1,5
4	5,45	8,3	25	6	15	2,5	15	2,5	15	2,5
5,5	7,5	11	35	10	25	6	20	4	15	2,5
7,5	10,2	15	50	16	25	6	25	6	20	4
11	15	22	60	25	30	16	25	6	25	6
15	20,5	30	80	35	60	25	35	10	35	10
22	30	43	80	35	60	25	50	16	50	16
30	41	58	100	50	80	35	60	25	60	25
40	54,5	77	125	50	100	50	80	35	80	35
50	68	95	160	70	100	50	100	50	100	50
64	87	120	160	70	125	50	125	50	125	50
80	109	150	200	95	160	70	160	70	160	70
100	136	185	225	120	200	95	200	95	200	95

Primjedbe: 1. Slabiji osigurači ne smiju se uzeti jer inače pregaraju kod uklapanja.

2. Presjeci vodiča ne smiju biti tanji jer inače nisu zaštićeni pripadnim osiguračem. Ako se uzme jači osigurač, treba da vodiči dovoda budu deblji. Oni moraju odgovarati nazivnoj struji osigurača prema tablici 322 (ali smiju biti i deblji).

3. Nazivna struja motora može za istu nazivnu snagu motora biti i veća nego što je u tablici navedeno (osobito kod motora sa 6 ili više polova). U tom slučaju treba eventualno uzeti jače osigurače i vodiče.

4. Kod napona različitih od 380 V odaberi osigurače prema nazivnoj struji motora uspoređujući struju motora i nazivnu struju osigurača u gornjoj tablici.

5. Umjesto rastalnih umetaka (uložaka, patrona) 2, 4 ili 6 A smiju se upotrijebiti umeci od 10 A jer oni još štite izolirane vodove presjeka 1,5 mm².

* Uglavnom prema Tolksdorf, Elektrotechnisches Tabellenbuch.

¹) Navedene struje jesu najmanje dopustive nazivne struje osigurača. Normalno se međutim ne uzimaju umeci (ulošci) osigurača ispod 6 A.

Najveći broj žarulja u jednom strujnom krugu **325**

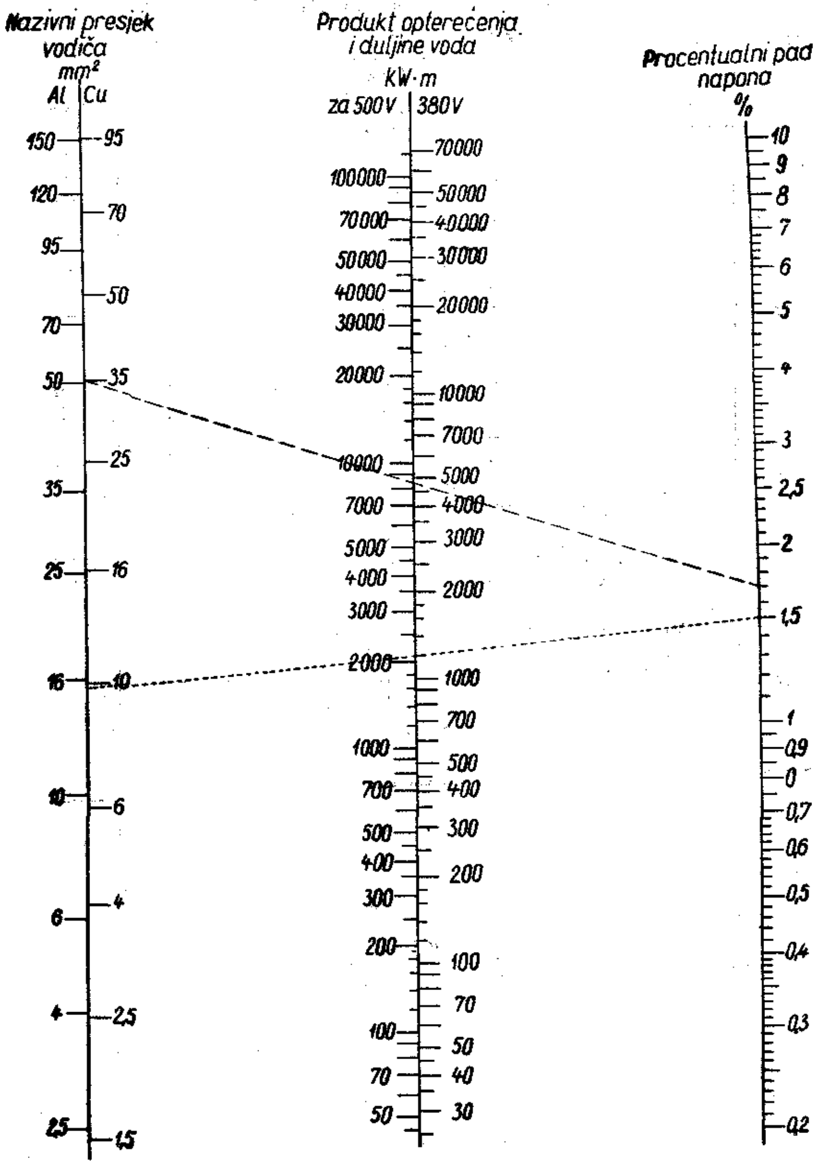
Napon	Žarulja uzima		Nazivna struja rastalnog osigurača				
			6 A	10 A	16 A	20 A	25 A
			Najmanji presjek bakrenih vodiča				
V	W	A	1,5 mm²	1,5 mm²	2,5 mm²	4 mm²	6 mm²
	25	0,23	19	32	—	—	—
	40	0,36	12	20	—	—	—
	60	0,54	8	14	—	—	—
	75	0,68	6	10	—	—	—
	100	0,91	5	8	—	—	—
	150	1,36	3	5	—	—	—
110	200	1,82	2	4	—	—	—
	300	2,72	2	2	4	6	7
	500	4,55	1	2	2	3	4
	750	6,80	—	1	2	2	3
	1000	9,1	—	1	1	2	2
	1500	13,6	—	—	1	1	1
	25	0,12	37	55	—	—	—
	40	0,18	25	40	—	—	—
	60	0,27	16	27	—	—	—
	75	0,34	13	22	—	—	—
	100	0,46	9	16	—	—	—
	150	0,68	6	11	—	—	—
220	200	0,91	5	8	—	—	—
	300	1,36	3	5	6	11	14
	500	2,26	2	3	5	7	8
	750	3,41	—	2	3	4	6
	1000	4,55	—	2	3	3	4
	1500	6,80	—	1	2	2	3
	2000	9,1	—	1	1	1	2

Vrijednosti su izračunate na temelju 75% iskorišćenja. Ako ima više žarulja nego što je u tablici navedeno, postoji opasnost da zbog udarne struje kod uklapanja pregori osigurač.

Strujni krugovi sa žaruljama sa grlom E 27 smiju se osigurati sa najviše 10 A, a ako u takvom strujnom krugu ima stalno položenih vodova od 1 mm², smiju se osigurati sa najviše 6 A. Stoga za žarulje do 200 W nisu navedene nikakve vrijednosti kod osigurača 16 do 25 A. Strujni krugovi sa žaruljama sa grlom E 40 smiju se jače osigurati (jugosl. standard JUS N.B2.704).

326 a Nomogram za proračun izoliranih vodova unutarnjih instalacija

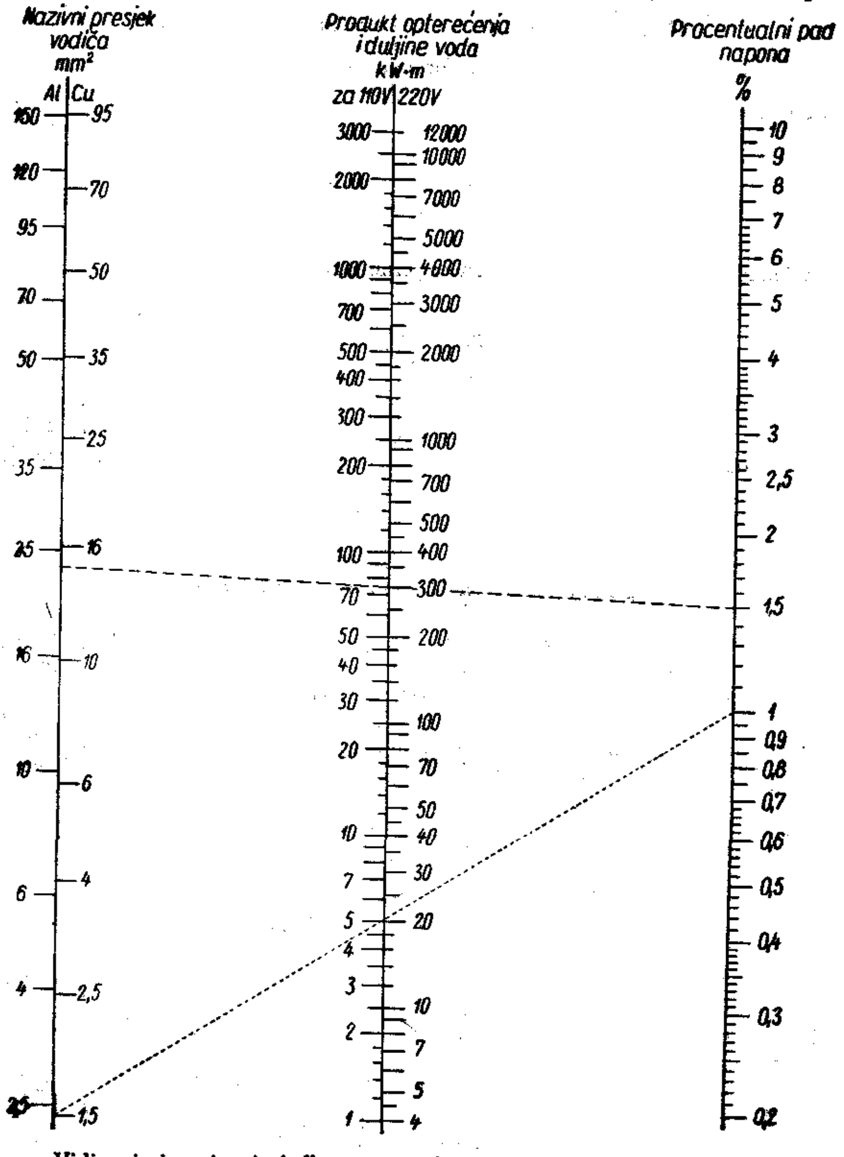
a) Za trofazne vodove



Vidi primjedbe i primjere na strani 550.

Nomogram za proračun izoliranih vodova unutarnjih instalacija

b) Za jednofazne vodove i vodove istosmjerne struje



Vidi primjere i primjedbe na narednoj strani.

326 c Nomogram za proračun izoliranih vodova unutarnjih instalacija s obzirom na pad napona

Primjedbe uz nomograme 326a i 326b.

Nomogrami su izračunati po formulama

za trofazne vodove:

$$u = \frac{Pl}{U^2} r \cdot 100 \qquad [\%, \mathrm{W}, \mathrm{m}, \mathrm{V}, \Omega/\mathrm{m}]$$

za jednofazne vodove i vodove istosmjerne struje:

$$u = \frac{2Pl}{U^2} r \cdot 100 \qquad [\%, \mathrm{W}, \mathrm{m}, \mathrm{V}, \Omega/\mathrm{m}]$$

u-procentualni pad napona, P-opterećenje, tj. snaga koja se prenosi, l-duljina voda, U-napon na kraju voda (kod trofaznog voda linijski napon), r-djelatni otpor voda. Induktivitet vodova je zanemaren.

Primjeri za trofazne vodove

a) Snaga $P = 60$ kW prenosi se na daljinu $l = 80$ m vodom 380 V, 3×35 mm² Cu. $u = ?$ — Izračunamo $Pl = 60 \cdot 80 = 4800$ kW · m. Iz nomograma 326a (crtkana linija) dobijemo $u = 1{,}7\%$

b) Snagu $P = 30$ kW treba prenijeti na daljinu $l = 70$ m uz napon $U = 500$ V, a da pad napona ne prijeđe $1{,}5\%$. $S = ?$ — $Pl = 30 \cdot 70 = 2100$ kW · m. Iz nomograma 326a (tačkasta linija) dobijemo $S = 10$ mm² Cu ili 16 mm² Al.

Primjeri za jednofazne vodove
(isto vrijedi za vodove istosmjerne struje)

a) Koliki je presjek potreban da se snaga $P = 3000$ W prenese uz napon 220 V na daljinu $l = 100$ m, a da pad napona ne bude veći od $1{,}5\%$? Izračunamo $Pl = 3 \cdot 100 = 300$ kW · m. Iz nomograma 326b (crtkana linija) $S = 16$ mm² Cu ili 25 mm² Al.

b) Koliko se W može najviše prenijeti uz napon $U = 110$ V i presjek $S = 1{,}5$ m² Cu na daljinu od 50 m, a da pad napona ne prijeđe 1%? — Iz nomograma 326b (tačkasta linija) $Pl = 5$ kW · m. Odatle $P = 5 : 50 = 0{,}1$ kW $= 100$ W.

Nazivna struja osigurača, prenosiva snaga i pad napona

P_m - maksimalna prenosiva snaga s obzirom na nazivnu struju osigurača, u - pad napona (u voltima i postocima) za 100 m voda opterećenog nazivnom strujom osigurača

Presjek vodiča mm²	Nazivna struja osigurača A			Vrst struje										
				istosmjerna i izmjenična uz cos φ = 1		trofazna								
						110 V		220 V		380 V		500 V		
						cos φ =		cos φ =		cos φ =		cos φ =		
				110	220	1,0	0,8	1,0	0,8	1,0	0,8	1,0	0,8	
1,5	10	P_m	kW	1,1	2,2	1,9	1,52	3,8	3,04	6,6	5,25	8,65	6,9	
		u	V	24	24	20,5	16,6	20,5	16,6	20,5	16,6	20,5	16,6	
		u %	%	21,5	10,8	18,6	15,0	9,3	7,5	5,4	4,3	4,1	3,3	
2,5	15	P_m	kW	1,65	3,3	2,86	2,28	5,7	4,55	9,85	7,85	13,0	10,4	
		u	V	21,5	21,5	18,6	14,9	18,6	14,9	18,6	14,9	18,6	14,9	
		u %	%	19,4	9,7	16,8	13,4	8,4	6,7	4,9	3,9	3,7	3,0	
4	20	P_m	kW	2,2	4,4	3,8	3,04	7,6	6,1	13,2	10,5	17,3	13,8	
		u	V	17,8	17,8	15,6	12,4	15,6	12,4	15,6	12,4	15,6	12,4	
		u %	%	16,2	8,1	14,2	11,2	7,1	5,6	4,1	3,3	3,1	2,5	
6	25	P_m	kW	2,75	5,5	4,75	3,8	9,5	7,6	16,5	13,1	21,8	17,3	
		u	V	15,0	15,0	12,8	10,2	12,8	10,2	12,8	10,2	12,8	10,2	
		u %	%	13,6	6,8	11,6	9,3	5,8	4,7	3,4	2,7	2,6	2,0	
10	35	P_m	kW	3,85	7,7	6,7	5,3	13,3	10,6	23,0	18,4	30,4	24,2	
		u	V	12,6	12,6	10,8	8,7	10,8	8,7	10,8	8,7	10,8	8,7	
		u %	%	11,4	5,7	9,9	7,9	4,9	3,9	2,8	2,3	2,2	1,7	
16	60	P_m	kW	6,6	13,2	11,4	9,1	22,8	18,2	39,6	31,6	52,0	41,5	
		u	V	13,4	13,4	11,6	9,3	11,6	9,3	11,6	9,3	11,6	9,3	
		u %	%	12,2	6,1	10,6	8,5	5,3	4,2	3,0	2,4	2,3	1,9	
25	80	P_m	kW	8,8	17,6	15,2	12,2	30,4	24,4	52,5	42,0	69,5	55,5	
		u	V	11,4	11,4	9,9	7,9	9,9	7,9	9,9	7,9	9,9	7,9	
		u %	%	10,4	5,2	9,0	7,2	4,5	3,6	2,6	2,1	2,0	1,6	
35	100	P_m	kW	11,0	22,0	19,0	15,2	38,0	30,4	66,0	52,5	86,5	69,0	
		u	V	10,2	10,2	8,9	7,1	8,9	7,1	8,9	7,1	8,9	7,1	
		u %	%	9,3	4,6	8,1	6,5	4,0	3,2	2,3	1,9	1,8	1,4	
50	125	P_m	kW	13,8	27,5	23,8	19,0	47,5	38,0	82,0	66,0	108,0	87,0	
		u	V	8,9	8,9	7,8	6,2	7,8	6,2	7,8	6,2	7,8	6,2	
		u %	%	8,1	4,0	7,0	5,6	3,5	2,8	2,0	1,6	1,6	1,2	
70	160	P_m	kW	17,6	35,2	30,4	24,4	61,0	48,5	105,0	84,0	138,0	111,0	
		u	V	8,2	8,2	7,1	5,7	7,1	5,7	7,1	5,7	7,1	5,7	
		u %	%	7,4	3,7	6,4	5,1	3,2	2,6	1,9	1,5	1,4	1,1	

Primjedba

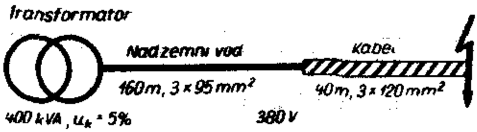
Gornja tablica vrijedi i za osigurače nazivnih struja 16 odn. 63 A prema novom standardu JUS (umjesto 15 i 60 A).

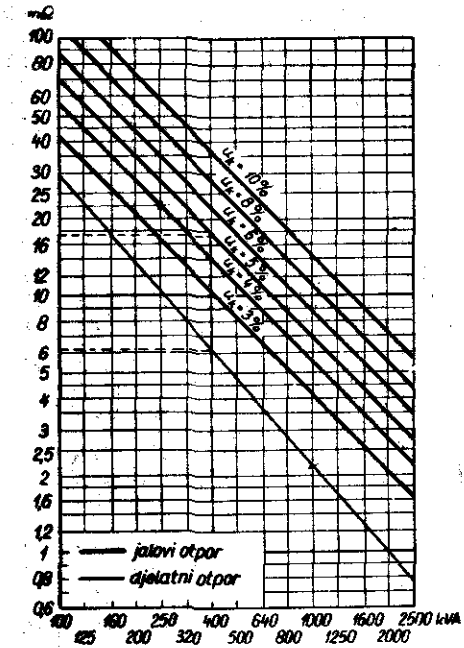
328 Proračun struje kratkog spoja u mreži niskog napona

(Prema metodi iz Siemens-Zeitschrift 1930, svezak 1.)

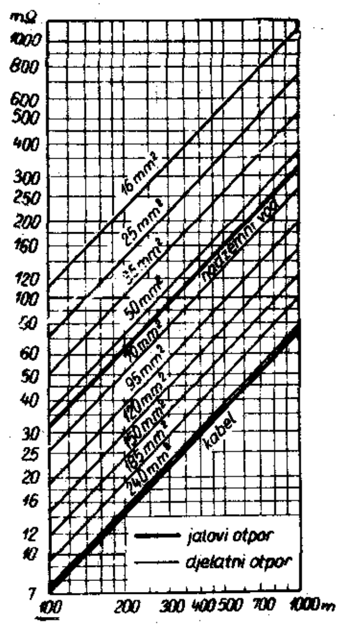
Ako je mreža niskog napona napajana samo preko transformatora (dakle ne iz generatora neposredno) i priključena na jaku mrežu visokog napona, može se uzeti da kod kratkog spoja u mreži niskog napona napon na transformatoru ostaje približno konstantan. Uz tu pretpostavku može se struja kratkog spoja odrediti pomoću niže navedenih dijagrama.

Primjer:





Sl. 1. Jalovi i djelatni otpor transformatora za 380 V.



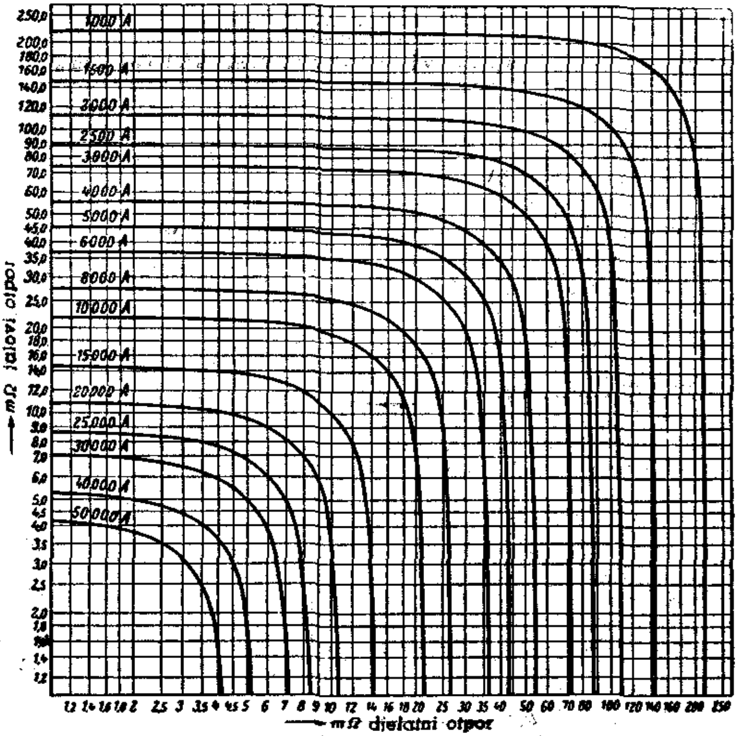
Sl. 2. Jalovi i djelatni otpor nadzemnih vodova i kabela s bakrenim vodičima.

Primjedbe: 1. Ako se u petlji kratkog spoja nalaze i prigušnice, treba njihov rasipni napon u_{pr} zbrojiti s naponom kratkog spoja transformatora u_k te pomoću tog zbroja $(u_k + u_{pr})$ odrediti iz lijevog gornjeg dijagrama ukupni jalovi otpor transformatora i prigušnice.

2. Ako su vodiči nadzemnog voda ili kabela od aluminija, treba djelatni otpor određen iz desnog dijagrama pomnožiti sa 1,65.

3. Vrijednosti jalovog otpora iz desnog dijagrama vrijede za smještaj vodiča u trokutu. Ako su vodiči smješteni u jednoj ravnini, treba te vrijednosti jalovog otpora pomnožiti sa 1,26.

4. Ako je vod ili kabel kraći od 100 m, treba njegovu duljinu pomnožiti sa 10, odrediti tada otpore iz desnog dijagrama te dobivene vrijednosti otpora podijeliti sa 10. Ako je vod ili kabel dulji od 1000 m, treba njegovu duljinu podijeliti sa 10, a dobivene otpore pomnožiti sa 10.



Sl. 3. Struja kratkog spoja (efektivna vrijednost izmjenične komponente udarne struje kratkog spoja) u ovisnosti o jalovom i djelatnom otporu petlje kratkog spoja. Napon mreže 380 V.

Rješenje primjera sa prethodne strane: **Iz dijagrama na prethodnoj strani odrede se ovi otpori:**

	Jalovi otpor	Djelatni otpor
Transformator ($u_k = 5\%$)	16,7 mΩ	3,1 mΩ
Nadzemni vod (160 m 3×95 mm² Cu)	50,0 „	30,0 „
Kabel (40 m, 3×120 mm² Cu)	2,9 „	6,0 „
Ukupni otpor petlje kratkog spoja	69,6 mΩ	42,1 mΩ*

Za ove otpore dobijemo iz gornjeg dijagrama: I_k=2700 A.

Ako je napon mreže 220 ili 500 V, treba vrijednosti dobivene iz pojedinih dijagrama pomnožiti s ovim faktorima:

	Slika 1	Slika 2	Slika 3
Za napon 220 V	0,33	1	0,58
Za napon 500 V	1,73	1	1,32

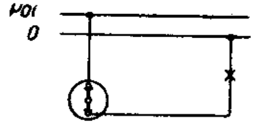
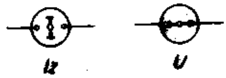
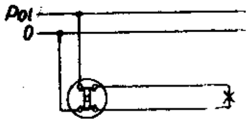
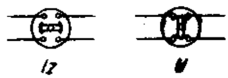
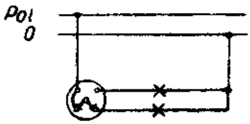
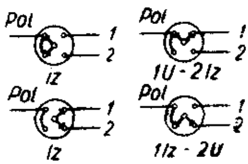
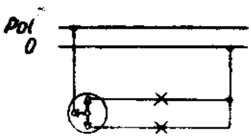
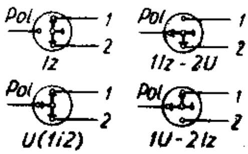
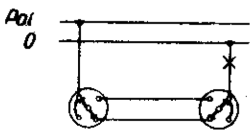
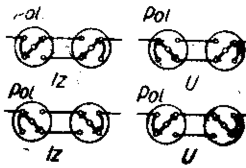
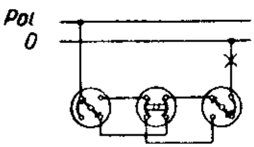
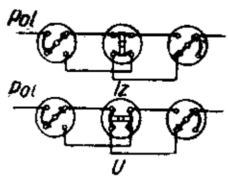
Ako bi napon mreže iz gornjeg primjera bio 500 V (a ne 380 V), tada bismo iz dijagrama na slikama 1 i 2 dobili iste otpore, ali bi otpore transformatora trebalo pomnožiti sa 1,73. Dakle 1,73 . 16,7 = 28,9 mΩ, 1,73 . 6,1 = 10,5 mΩ. Ukupni otpori jesu 81,8 odn. 46,5 mΩ. Pomoću tih vrijednosti dobije se iz slike 3 I_k=2300 A, a tu vrijednost treba pomnožiti sa 1,32, pa dobijemo faktičnu struju kratkog spoja I_k = 3000 A. Za kontrolu mehaničkih naprezanja mjerodavna je amplituda udarne struje kratkog spoja za koju se ovdje (u mreži niskog napona) može uzeti da je $\sqrt{2}$ puta veća od netom izračunate efektivne vrijednosti.

* mΩ = miliom. 1 mΩ = 0,001 Ω.

329 a

Spojevi svjetiljaka

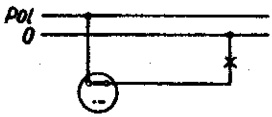
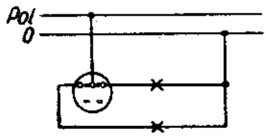
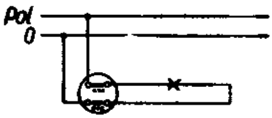
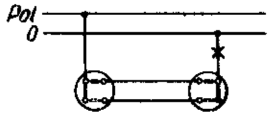
a) Osnovni spojevi s okretnim sklopkama

Oznaka spoja	Naziv sklopke	Osnovni spoj	Položaji sklopke
1	*Isklopka (jednopolna)* (za jednopolno uklapanje i isklapanje)		
2	*Dvopolna isklopka* (za dvopolno uklapanje i isklapanje)		
4	*Grupna (skupinska) sklopka* za preklapanje 2 strujna kruga)		
5	*Serijska (redna) sklopka* (za postepeno sklapanje sa 2 strujna kruga)		
6	*Izmjenična sklopka* (za sklapanje 1 strujnog kruga sa 2 mjesta)		
7	*Križna (unakrsna) sklopka* (za uklapanje 1 strujnog kruga sa više od 2 mjesta)		

Primjedba: Sklopka mora uvijek biti spojena na polni vodič (tj. na fazni vodič odn. + vodič), a nikad na nulvodič. Sklopka s oznakom 3 je tropolna isklopka.

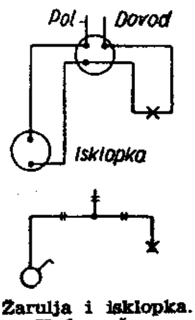
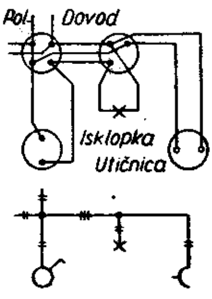
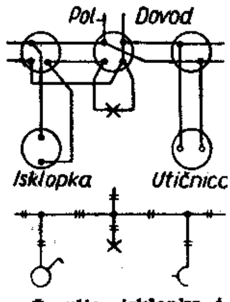
Spojevi svjetiljaka (nastavak)

b) Osnovni spojevi s pregibnim sklopkama — 329b

Oznaka spoja*	Spoj**	Oznaka spoja*	Spoj**
1		5	
2		6	

c) Primjeri izvedbe — 329c

Pazi: Sklopka mora biti uvijek u polnom (faznom) vodiču!
U jednoj stezaljci odvojnice neka ne bude više od 3 žice.

Izvedba / Shema spoja			
Opis	Žarulja i isklopka. Vod svršava u prostoriji.	Žarulja, isklopka i utičnica. Dovod kod odvojka za isklopku. Vod se nastavlja ulijevo[1]).	Žarulja, isklopka i utičnica. Dovod kod odvojka za žarulju. Vod se nastavlja ulijevo i udesno[1]).

---

* Brojevi označuju vrsti sklopaka kao i kod okretnih sklopaka.

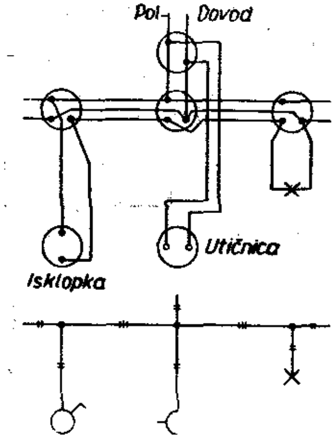
** Crtkano je označen položaj sklopke u isklopljenom stanju, odnosno u drugom sklopnom položaju.

1) Dovod može biti i slijeva ili zdesna. Tada je dovod na gornjoj shemi odvojak.

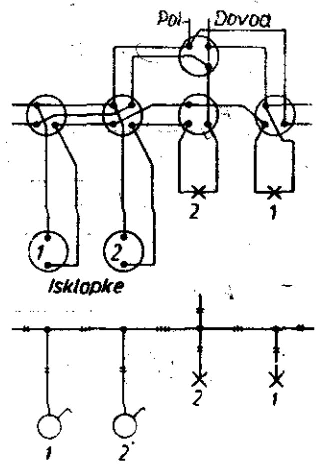
Spojevi svjetiljaka (nastavak)

Pazi: Sklopka mora biti uvijek u polnom (faznom) vodiču! U jednoj stezaljci odvojnice neka ne bude više od 3 žice.

Izvedba — Shema spoja

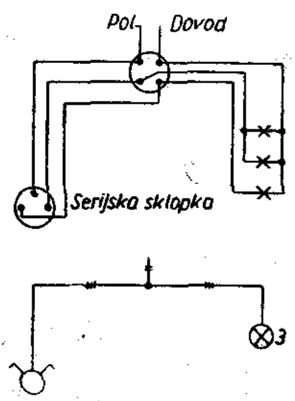


Opis: **Isklopka, utičnica, žarulja. Dovod kod odvojka za utičnicu. Vod se nastavlja ulijevo i udesno[1]).**

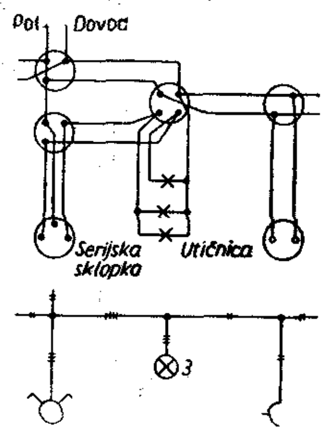


Opis: **Dvije isklopke i dvije žarulje. Dovod kod odvojka za žarulju 2. Vod se nastavlja ulijevo i udesno[1]). Žarulja i pripadna isklopka označene su istim brojem.**

Izvedba — Shema spoja



Opis: **Serijska sklopka[2]) za postepeno uklapanje svjetiljke sa 3 žarulje. Vod svršava u prostoriji.**



Opis: **Serijska sklopka[2]) za postepeno uklapanje svjetiljke sa 3 žarulje i utičnica. Dovod kod odvojka za sklopku. Vod se nastavlja ulijevo i udesno[1]).**

---

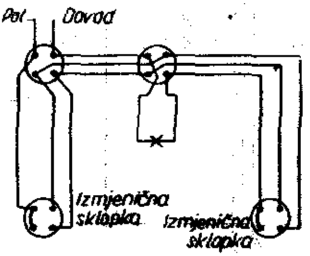
[1]) Dovod može biti i slijeva ili zdesna. Tada je dovod na gornjoj shemi odvojak.

[2]) Spoji je tako da najprije uklopi manji broj žarulja, odn. manju žarulju.

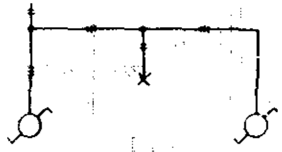
Spojevi svjetiljaka (nastavak)

Pazi: Sklopka mora biti uvijek u polnom (faznom) vodiču! U jednoj stezaljci odvojnice neka ne bude više od 3 žice.

Izvedba



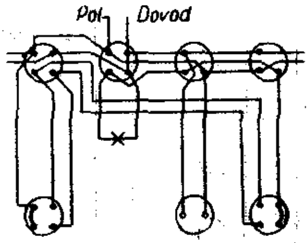
Shema spoja



Opis

Žarulja s izmjeničnim sklopkama. Dovod kod odvojka za sklopku. Vod svršava u prostoriji.

Izvedba



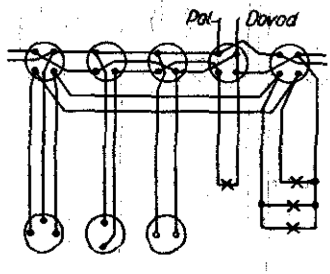
Shema spoja



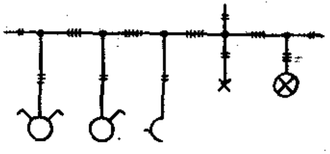
Opis

Žarulja s izmjeničnim sklopkama i utičnica. Dovod kod odvojka za žarulju. Vod se nastavlja ulijevo i udesno[1]).

Izvedba



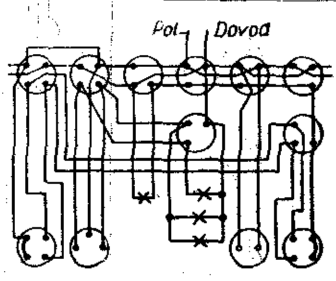
Shema spoja



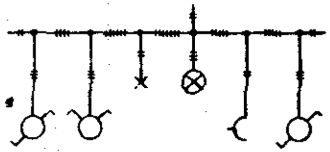
Opis

Serijska sklopka[2]) za postepeno uklapanje svjetiljke sa 3 žarulje, 1 žarulja s isklopkom, utičnica. Dovod kod odvojka za žarulju. Vod se nastavlja ulijevo i udesno[1]). Pripadne žarulje i sklopke preporučuje se označiti istim brojem.

Izvedba



Shema spoja



Opis

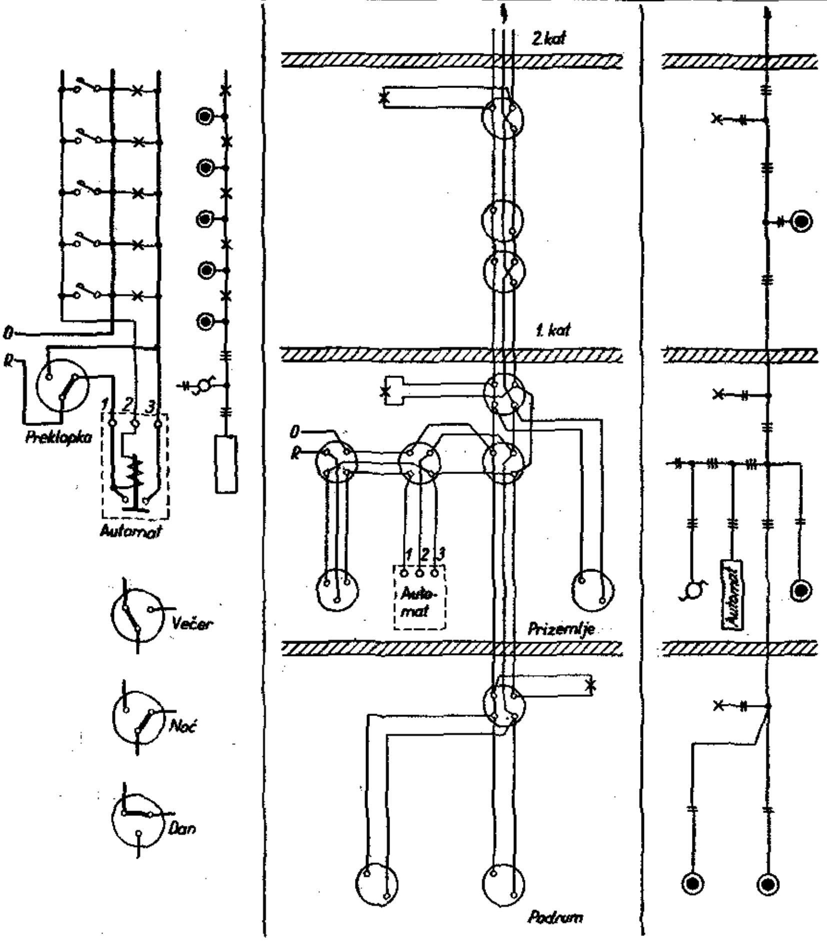
Serijska sklopka[2]) za postepeno uklapanje svjetiljke sa 3 žarulje, 1 *žarulja s izmjeničnim sklopkama.* Dovod kod odvojka za svjetiljku. Vod se nastavlja ulijevo i udesno[1]). Pripadne žarulje i sklopke preporučuje se označiti istim brojem.

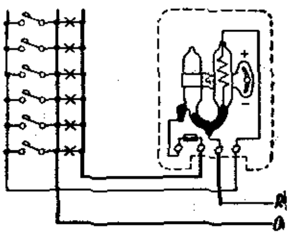
[1]) Dovod može biti i *slijeva ili zdesna.* Tada je dovod na shemi odvojak.
[2]) Spoji je tako da najprije uklopi manji broj žarulja, odn. manju žarulju.

329 d

d) Shema spoja stubišne rasvjete

Osnovni spoj	Izvedba	Shema spoja



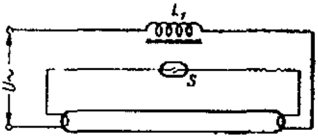


← Stubišni automat proizvodnje »Elra« (Škofja Loka)

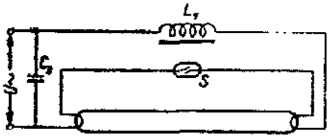
Ovaj automat tvori kontakt živom kad se otpornik zagrije i drži ga tako dugo dok se ne ohladi. Trajanje uklopljenog stanja može se regulirati pomoću kulise (pomak prema + daje dulje trajanje).

329 e

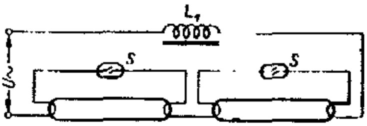
e) Spojevi fluorescentnih svjetiljaka



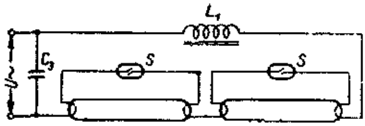
1. Induktivni spoj



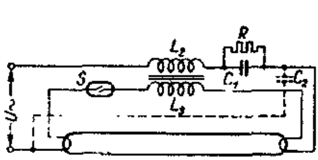
2. Kompenzirani spoj



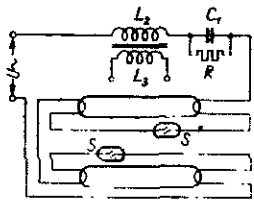
3. Induktivni tandem-spoj



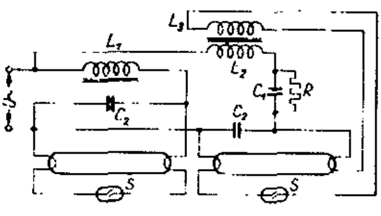
4. Kompenzirani tandem-spoj



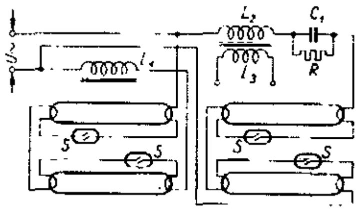
5. Kapacitivni spoj za 1 sijalicu



6. Kapacitivni spoj za 2 sijalice



7. Duo-spoj* za 2 sijalice



8. Duo-spoj* za 4 sijalice

S - starter, L_1 - prigušnica za induktivni spoj, L_2 - prigušnica za kapacitivni spoj, L_3 - prigušnica za paljenje, C_1 - kondenzator za kapacitivni spoj, C_2 - blok-kondenzator (za sprečavanje smetnji na radio-prijemnicima), C_3 - kondenzator za kompenzaciju (popravak faktora snage). Prigušnica, kondenzator ili njihova kombinacija koji omogućuju stabilno, jednoliko svijetljenje cijevi zove se s t a b i l i z a t o r.

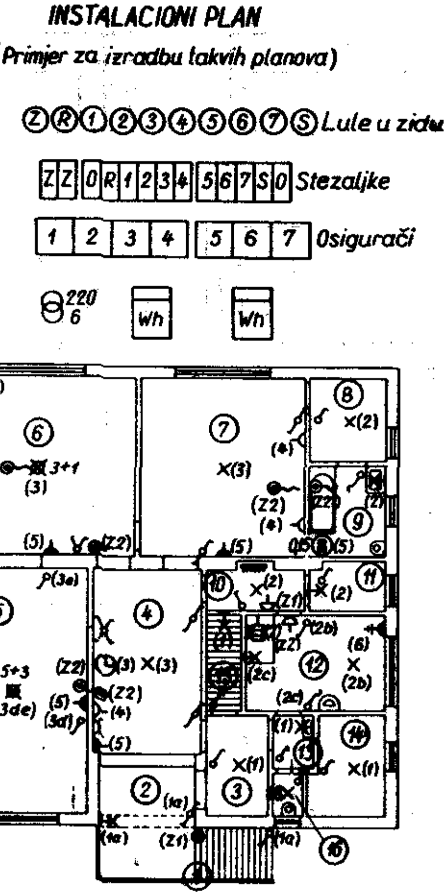
330

Propisi za instalacije sa fluorescentnim svjetiljkama

Za pribor uz fluorescentne sijalice izdane su dosada ove međunarodne preporuke: Specifikacija CEE (vidi str. 698) za pribor fluorescentnih sijalica (iz 1954. god.) te publikacija IEC br. 82/1956: Preporuke za stabilizatore uz fluorescentne sijalice. Vidi i VDE 0712, dio 1 do 6 (pribor) te VDE 0560, dio 6 (kondenzatori). Jugoslavenskih propisa ili standarda još nema. IEC preporučuje ograničenje trećeg harmonika na 25%. Mnoga inozemna elektroprivredna poduzeća donijela su propise za vladanje fluorescentnih svjetiljaka u razvodnim mrežama, i to s obzirom na a) faktor snage, b) harmonike u struji koju instalacija uzima i c) impedanciju pri frekvencijama telekomande (ako su te frekvencije više od 200 Hz). Takvi propisi i kod nas postaju neophodni.

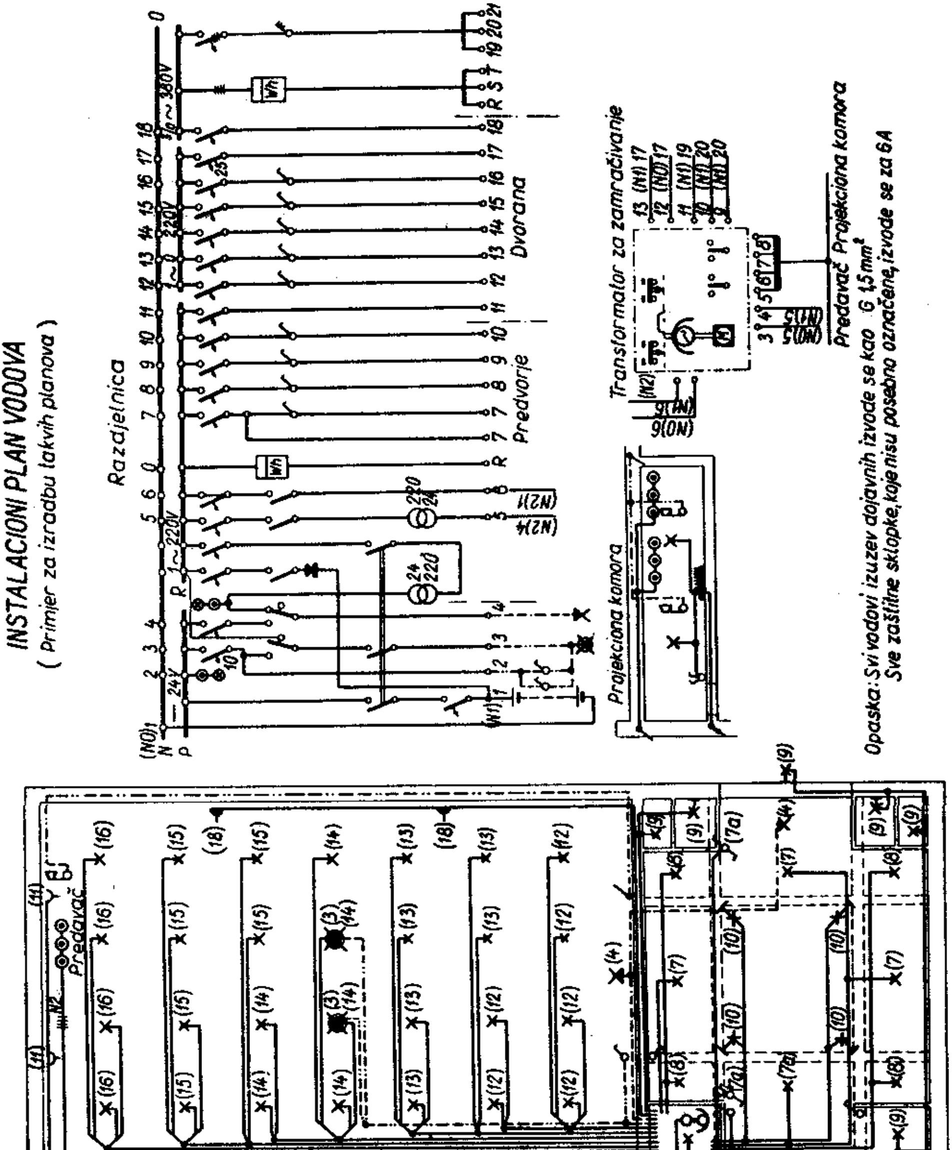
* Kombinacija induktivnog i kapacitivnog spoja: faktor snage približno 1, faktor jednolikosti svijetljenja veći nego kod žarulja.

331 a



Opaska: Svi vodovi izvedeni su kao G 1,5 mm² i položeni u izolacionim cijevima pod žbukom.

Objašnjenje uz instalacione planove: 1. Brojevi u kružiću označuju prostoriju. — 2. Brojevi uz simbole svjetiljaka označuju broj žarulja u svjetiljci. — 3. Brojevi uz kućne aparate označuju priključnu vrijednost u kW. — 4. Brojevi u zagradi jesu »znakovi cilja«, a označuju u kojem je strujnom krugu odnosna naprava. Jednakim brojevima označeni su i pripadni osigurači, stezaljke i lule u zidu ako je njihov raspored nacrtan u instalacionom planu, kao što je to učinjeno u gornjem nacrtu. — 5. Mala slova u zagradi iza znaka cilja označuju međusobnu pripadnost trošila i sklopke. — 6. Velika slova znače: Z - zvonce, R - radio.


INSTALACIONI PLAN VODOVA
(Primjer za izradbu takvih planova)
Razdjelnica
Predvorje
Dvorana
Transformator za zamračivanje
Projekciona komora
Predavač
Predavač Projekciona komora
Opaska: Svi vodovi izuzev dojavnih izvode se kao G 1,5 mm²
Sve zaštitne sklopke, koje nisu posebno označene, izvode se za 6A

332

Instalacije u raznim prostorijama

Naziv prostorija prema propisima	Primjeri takvih prostorija	Odredbe za instalacije
1. Normalne suhe prostorije	Stambene prostorije, uredi	Važe odredbe za normalne instalacije
2. Prostorije za električni pogon[1])	Strojarnice, komandne prostorije, upravljačke kabine dizalica	Za napone do 250 V prema zemlji može izostati zaštita od slučajnog dodira dijelova pod naponom ako ona, prema mjesnim prilikama, nije neophodna. Npr. i goli dijelovi pod naponom smiju biti bez zaštite od dodira ako je pod drven u suhim prostorijama ili ako bi ona smetala posluživanju i nadzoru. Nulvodiči smiju se i pojedinačno isklapati. Komandni i signalni uređaji raznih strujnih krugova smiju se nalaziti u istoj cijevi. Rastalni ulošci ne moraju biti nezamjenljivi (npr. NH-osigurači). Ako prostorija ima stalnu poslugu, mora postojati pomoćna rasvjeta (npr. iz akumulatorske baterije).
3. Zatvorene prostorije za električni pogon[2])	Trafostanice, uklopne prostorije visokog napona, prostor iza komandnih ploča	Kao pod 2 i još: Dijelovi pod naponom iznad 1 kV mogu biti zaštićeni i samo od slučajnog dodira (mreže, ograde i sl.). Pristup do takvih prostorija mora biti obilježen pločicom za upozorenje sa crvenom strelicom. Vrata se iznutra otvaraju samo kvakom, a izvana samo specijalnim ključem. Ona se otvaraju prema van i moraju biti otporna prema vatri.
4. Vlažne, mokre i slične prostorije[3])	Praonice, kožare, šećerane, pecare, pivare, mesarnice, mljekare, klaonice, staje, garaže, podrumi	Neuzemljeni vodovi koji vode u takve prostorije moraju se isklapati u svim polovima. Goli vodovi na porc. izolatorima dozvoljeni su samo onda ako se ne mogu dohvatiti bez pomoćnih sredstava. Izolirani vodovi smiju se stalno polagati samo kao kabeli, vodovi za vlažne prostorije i vodovi otporni prema atmosferskim utjecajima (GN/A, G/A), ali ovi posljednji samo u dobro zabrtvljenim čeličnim izoliranim (oklopnim) cijevima. U stajama i sl. smiju se otvoreno polagati samo vodovi GN/A ili G/A. Grla samo od izolacionog materijala i bez sklopke, sa zaštitom od dodira za vrijeme namještanja sijalice. Općenito pomna zaštita od dodira. U nužnicima, stajama, mljekarama i sl. treba vodove po

[1]) Prostorije, koje uglavnom služe za pogon električnih strojeva i naprava, a pristupačne su samo upućenom osoblju.

[2]) Prostorije u koje s vremena na vrijeme ulazi upućeno osoblje, a inače su zaključane te ih smije otvarati samo određeno stručno osoblje.

[3]) Prostorije u kojima je uslijed vlage, topline, kemijskih ili drugih utjecaja otežano stalno održavanje normalne izolacije te je uslijed toga znatno povećana opasnost po život osoba zaposlenih u njima.

Naziv prostorija prema propisima	Primjeri takvih prostorija	Odredbe za instalacije
4. Vlažne, mokre i slične prostorije	Nastavak sa strane 562	mogućnosti polagati s vanjske strane prostorije i samo kratke priključke voditi kroz zid do trošila. Utičnice samo sa zaštitnim kontaktom i zabrtvljenim poklopcem. Svjetiljke nepromočive, zaštićene staklenim zvonom, po potrebi i mrežom. Sklopke u kupaonicama samo potezne (ili obične izvan kupaonice). Otvoreno se u kupaonicama ne smiju polagati cijevni vodovi, vodovi s metalnim plaštem ili vodovi u cijevima (zbog opasnosti od dodirnog napona).
5. Radionice i skladišta s opasnošću od požara[4])	Sjenici, ambari, tvornice parketa, autogaraže, tvornice vate, predionice, plinare i sl.	Goli vodiči zabranjeni. Izolirani vodiči samo u izolacionim oklopnim cijevima, ili kao kabeli, ili kao vodovi za vlažne prostorije, sve bez vanjske jute. U sjenicima i ambarima samo olovni kabeli ili vodovi za vlažne prostorije — uvijek bez vanjske jute, u prostorijama iznad 1 kV samo olovni kabeli bez vanjske jute. Motori, osigurači i drugi elementi postrojenja koji se griju i kod kojih može doći do iskre treba da budu tako izrađeni i smješteni da požar bude isključen. Motori po mogućnosti kavezni. Utičnice samo gdje se ne mogu izbjeći. Sijalice u blizini zapaljivih materijala zaštićene staklenim zvonom ili sl. Sklopke, utičnice, osigurače i sl. treba izbjegavati, a ako je to nemoguće, oni moraju biti zatvorene izvedbe.
6. Radionice i skladišta s opasnošću od eksplozije[5])	Praonice benzinom, tvornice celuloze i celuloznih proizvoda i sl.	El. strojevi i sprave samo u eksploziono sigurnoj (S) izvedbi i samo onda ako se njihovo postavljenje u takvim prostorijama nikako ne može izbjeći. Za stalno polaganje samo izolirani vodovi u izolacionim oklopnim cijevima (bez preklopa) ili olovni kabeli, za pokretne vodove samo teški gumeni gajtani. Sijalice zaštićene jakim staklenim zvonom i mrežom. Ni jedan se dio instalacije ne smije u pogonu toliko zagrijati da mu se temperatura približi temperaturi pri kojoj bi eksplozivna smjesa planula u prostoriji. Utičnice moraju biti blokirane. Na zaštitu vodova od meh. oštećenja treba naročito paziti.
7. Skladišta zapaljivih tekućina i barutane		Električne instalacije dozvoljene samo tamo gdje se to ne može izbjeći. Goli vodiči zabranjeni, izolirani vodiči dozvoljeni samo kao olovni kabeli. Priključak na mrežu nadzemnih vodova dozvoljen samo preko olovnog kabela. Glavni kabelski priključak mora biti vani na zgradi i treba imati preklopku preko koje se instalacija može uzemljiti u svim polovima. Utičnice zabranjene. Sklopke i osigurači moraju biti izvan ovakvih prostorija i dalje od njihovih vrata, inače u eksploziono sigurnoj izvedbi. El. strojevi i rasvjeta kao pod 6. Na zaštitu vodova od mehaničkog oštećenja treba naročito paziti.

4) Prostorije u kojima se proizvode, prerađuju ili drže lako zapaljivi materijali ili u kojima postoji mogućnost da se za vrijeme redovnog pogona stvore zapaljive smjese plinova, prašine, pare ili vlakana.

5) Prostorije u kojima se proizvode, prerađuju ili slažu eksplozivne tvari ili u kojima se skupljaju lako eksplozivni plinovi, pare ili njihove smjese sa zrakom.

Instalacije u raznim prostorijama (nastavak)

Naziv prostorija prema propisima	Odredbe za instalacije
8. Trgovine, izlozi i slične prostorije u kojima ima lako zapaljivih tvari	Stalno položeni vodovi moraju imati metalni plašt ili biti položeni u cijevima. Treba naročito paziti da ne dođe do dodira lako zapaljivog materijala sa svjetiljkom. Za prenosna trošila samo gumeni gajtani (kabeli) teške izvedbe (npr. GG, prije GG/T odn. RGCT). Sklopke, utičnice i osigurači moraju biti oklopljeni zaštitnim sandukom i postavljeni na mjestima gdje ne mogu doći u dodir s lako zapaljivim materijalom.
9. Kazališta, koncertne dvorane, kina, cirkusi i velike trgovine (trgovačke kuće)	U prostorijama pristupačnim publici ne smije biti instalacija iznad 250 V prema zemlji, osim za svijetleće cijevi. Uljni transformatori i uljne sklopke moraju biti smješteni u posebnu zgradu, a u prostorijama glavne zgrade samo ako one imaju poseban ulaz izvana i ako su odijeljene vatrostalnim zidovima. Uljni energetski transformatori moraju imati zaštitu od preopterećenja i od prekomjernog zagrijavanja. Stalno položeni vodovi, pa i oni van domašaja, moraju biti zaštićeni od mehaničkih oštećenja. U prostorijama gdje ima više od 3 sijalična mjesta te u svim hodnicima, stepeništima, prolazima i izlazima, sijalična mjesta moraju se priključiti na barem 2 zasebno osigurana strujna kruga, osim ako rasvjeta za slučaj opasnosti daje dovoljno svjetla. Mora biti sprovedena posebna instalacija za slučaj opasnosti (posebne odredbe vidi u JUS N.B2.708). Sklopke i osigurači u prostorijama za publiku moraju biti postavljeni u grupama i ne smiju biti pristupačni nepozvanim osobama. Posebne propise za kazalište, kina, koncertne dvorane i sl., posebne propise za pozornice te posebne propise za projekcione kabine vidi u JUS N.B2.708.
10. Bolničke operacione dvorane	Moraju biti osvijetljene iz dva nezavisna strujna kruga u različitim fazama, a po mogućnosti iz dva nezavisna izvora struje s automatskim prebacivanjem od jednog izvora na drugi. Svakako mora postojati rezervni izvor rasvjete.
11. Drvene barake	Vidi JUS N.B2.710
12. Privremene instalacije	Vidi JUS N.B2.710
13. Instalacije sa sa svijetlećim cijevima za visoki napon	Vidi JUS N.B2.709

P r i m j e d b a: Ovaj je pregled u skladu sa JUS N.B2.707/1952 do JUS N.B2.710/1952 te »Tehničkim propisima za izvođenje postrojenja jake struje za pogonski napon iznad 1000 V (Službeni list FNRJ br. 6/57). Vidi i VDE 0100/11.58, VDE 0165/8.60 i VDE 0166/11.58.

Zaštita od previsokog dodirnog napona

u skladu sa JUS N.B2.701/1952 (»Električne instalacije u zgradama«)*

1. Previsoki dodirni napon i dodatne zaštitne mjere od njega

Previsoki (opasni) dodirni napon je napon viši od 50 V[1]). Za izmjenične napone mjerodavna je efektivna vrijednost. U posebnim slučajevima previsokim dodirnim naponom smatra se napon iznad 42 V ili čak napon iznad 24 V.

Osnovni je zahtjev da se na što manju mjeru smanji mogućnost nastanka dodirnog napona, tj. proboj izolacije dijelova koji su u pogonu pod naponom prema dijelovima koji ne bi smjeli doći pod napon. To se postiže na taj način da se za izgradnju i pregradnju el. instalacija upotrijebe samo pravilno izrađene naprave i dobro izolirani vodovi i da se na te instalacije priključuju samo pravilno izrađena el. trošila, da se el. instalacije brižljivo i pravilno izrade te zajedno sa trošilima redovno i pravilno održavaju. Usprkos ovom osnovnom zahtjevu potrebne su dodatne zaštitne mjere od previsokog dodirnog napona svagdje gdje to traže propisi (vidi tačku 2).

Dodatne zaštitne mjere od previsokog dodirnog napona jesu: Zaštitna izolacija, mali napon, zaštitno odvajanje, nulovanje, zaštitno uzemljenje, sistem zaštitnog vodiča, ZN-sklopke, ZS-sklopke.

2. Gdje su potrebne dodatne zaštitne mjere?

a) Dodatne zaštitne mjere potrebne su uvijek i bez izuzetka ako je pogonski napon viši od 250 V prema zemlji.

b) Ako je pogonski napon viši od 50 V[1]) a manji ili jednak 250 V, dodatne zaštitne mjere također su potrebne, ali se od toga izuzimaju:

— električne instalacije u suhim stambenim i uredskim prostorijama s izolacionim podom (drvo, plastik i sl.) u kojima na dohvatu ruke nema vodovodnih ili plinskih instalacija ni instalacija centralnog grijanja koje su spojene sa zemljom;

— metalni plaštevi i cijevi električnih vodova u suhim stambenim i uredskim prostorijama s izolacionim podom;

— ormarići kućnog priključka, električna brojila kod potrošača kao i pripadne ploče, uklopni satovi i releji na ploči;

c) Ako je pogonski napon 50 V[1]) ili manji, dodatne zaštitne mjere nisu potrebne, osim gdje postoji naročito velika opasnost, kao što npr.: ručne svjetiljke u kotlovima, garažama, za rasvjetu alatnih strojeva, pekarske svjetiljke, svjetiljke-visjelice koje vise manje od 2 m nad vodljivim podom ili u blizini alatnog ili drugog stroja, sprave za mužnju krava, ručni elektroalat u vlažnim prostorijama, dječje igračke na elektromotorni pogon.

U takvim se slučajevima kao dodatna zaštitna mjera uzima mali napon.

3. Zaštitna izolacija

a) Zaštitna izolacija el. naprave: Izolira čovjeka od dijela postrojenja pod naponom, npr. specijalnom izolacionom izvedbom aparata (usisača prašine, stroja za pranje rublja ili sl.), izolacionom presvlakom držaka i ručnih kola, izolacionim kućištima aparata i sl. Prevlaka metalnih dijelova lakom ili emaljem ne smatra se dovoljnom zaštitom od dodira.

b) Zaštitna izolacija stajališta: Izolira čovjeka od zemlje, npr. izolacioni sag, izolacioni stalak, izolirani zidovi. Ova je zaštita dozvoljena samo za stacionarne naprave. Izol. sagovi moraju zadovoljavati ove uvjete: Oni moraju biti otporni i tako veliki da se naprava može dotaknuti samo s izoliranog stajališta; moraju biti pričvršćeni na svoju podlogu (osim u prostorijama za električni pogon; ako se s izoliranog stajališta može dotaknuti nekoliko naprava, treba međusobno spojiti vodljive dijelove tih naprava (koji ne pripadaju pogonskom strujnom krugu).

---

* Vidi i VDE 0100/11.58. Izražen je i prijedlog novih jugosl. »Tehničkih propisa za izvođenje elektroenergetskih instalacija u zgradama« (2. redakcija — maj 1964) koji se oslanja uglavnom na navedene propise VDE.

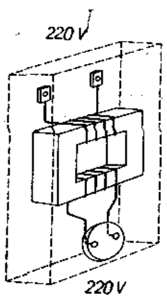
[1]) Prema prijedlogu novih jugosl. propisa i VDE granica je 65 V.

4. Mali napon

To je napon do 42 V dobiven preko transformatora s odijeljenim namotima. Upotrebljavaju se 2 napona: 42 i 24 V. Napon od 24 V mora se uzeti kad je pod vodljiv ili je okolina radnog mjesta vodljiva, a dodirna površina čovjeka s metalnim dijelovima može biti velika (npr. rad u kotlovima). Za dječje igračke s motornim pogonom također treba uzeti 24 V.

Instalacioni materijal i vodovi moraju biti izolirani za stupanj izolacije 250 V (JUS N.B2.701/1952, tačka 2.17), ali od toga se izuzima instalacioni materijal i vodovi strujnih krugova osiguranih do 3 A (vidi JUS N.B2.900/1952, tačka 1.3). To, na primjer, vrijedi za dječje igračke. Utikači moraju biti takvi da se ne mogu utaknuti u utičnice za viši napon (npr. 220 ili 110 V). Prema VDE 0100/11.58, § 8N, tačka d3, naprave za priključak na niski napon ne smiju imati stezaljku za zaštitni vodič.

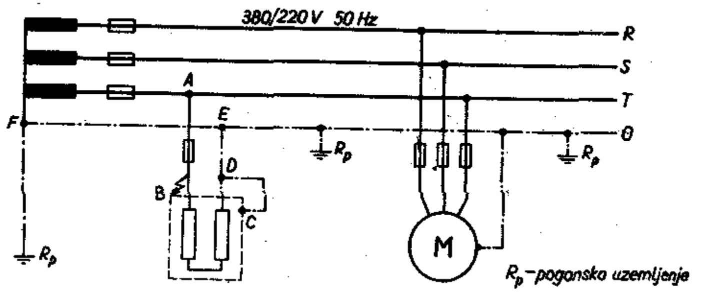
5. Zaštitno odvajanje



Nije predviđeno jugoslavenskim propisima*, ali ga neki naši elektroenergetski inspektorati dozvoljavaju. Izvodi se prema slici lijevo, a može se primijeniti uz ove uvjete (VDE 0100/11.58, § 14N): Nazivni napon mreže ne viši od 500 V; nazivni napon na sekundarnoj strani transformatora najviše 380 V; utičnica (uvijek samo jedna i uvijek **bez** zaštitnog kontakta) mora biti prigrađena transformatoru; na utičnicu se smije priključiti samo jedno trošilo nazivne struje do 15 A; transformator mora biti naročito građen (vidi VDE); sekundarni strujni krug ne smije biti uzemljen niti vodljivo spojen s drugim dijelovima postrojenja. Ovaj je sistem prikladan npr. za utičnice u kupaonicama za priključak aparata za brijanje.

6. Nulovanje

Nulovati znači spojiti metalne dijelove instalacije i uređaja (naprava) koji mogu dobiti dodirni napon s nulvodičem mreže (JUS N.B0.101/1952, tačka 7.1). Nulovanjem se sprečava da se u slučaju greške u izolaciji ili druge greške na zaštićenoj napravi održi previsoki dodirni napon. Osnovno je kod nulovanja da u slučaju greške (tj. dodira jednog vodiča pod naponom sa zaštićenim dijelom naprave) poteče u nastaloj petlji tako velika struja greške (»kratkog spoja«) da rastalni osigurač ili automatska sklopka prekinu bolesni strujni krug. Primjeri nulovanja vide se na ovoj slici:



---

* Prijedlog novih jugosl. propisa obuhvata i ovu dodatnu zaštitnu mjeru.

Nulovanje je dozvoljeno samo ako su ispunjeni ovi uvjeti (prema JUS N.B2.701/1952, tačka 2.16):

a) Ako struja u slučaju greške (kratkog spoja između faznog vodiča i nulvodiča) bude barem 2,5 puta veća od nazivne struje najbližeg rastalnog osigurača*) Ovaj je uvjet ispunjen ako ukupni otpor petlje kratkog spoja (A—B—C—D—E—F—A) na gornjoj slici odgovara ovoj jednadžbi:

$$R_u \leqq \frac{U_f}{I_i} = \frac{U_f}{k I_n} = \frac{U_f}{2{,}5\, I_n} \qquad \text{za } k = 2{,}5 \text{ prema JUS}$$

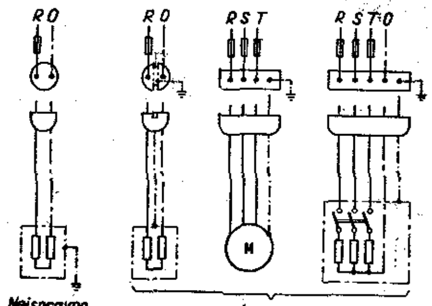
gdje je U_f - fazni napon mreže, I_i - isklopna struja osigurača odn. automata, I_n - nazivna struja rastalnog uloška osigurača. Ako gornji uvjet nije zadovoljen, treba pojačati presjek ili prijeći na drugi sistem zaštite (FI, FU).

b) Mora biti posve sigurno da je nulvodič dobro uzemljen, kako kod izvora struje, tako i u blizini krajeva mreže[1]).

c) U instalacijama gdje je provedeno nulovanje ne smije se uzemljivati bez istovremenog vidnog spajanja s nulvodičem[2]).

d) Nulvodič mora biti jednakog presjeka i mora biti jednako izoliran kao i fazni vodič[3]), ali se mora po cijeloj duljini razlikovati po boji od ostalih vodiča. On ne smije biti osiguran i mora i mehanički i električki sačinjavati neprekidnu vezu po cijeloj svojoj duljini.

e) Prenosiva trošila nuluju se pomoću posebnog vodiča u priključnom vodu koji mora biti jednakog presjeka kao i fazni vodič (vodiči) i priključuju na utičnicu sa zaštitnim kontaktom (zaštitnu utičnicu). Neispravni i ispravni priključci vide se iz slike (slika iz VDE):



Propisi VDE 0100/11.58 sadrže još ove dodatne odredbe:

f) Ako se u blizini razdjelne mreže nalazi vodovodna mreža, treba nulvodič spojiti s njom na što više mjesta, a barem kod glavnih cijevi ili kućnih priključaka. Presjek spojnog voda mora biti jednak presjeku nulvodiča.

g) Nulvodič mora biti u istoj cijevi, odnosno pod istim metalnim plaštem kao i fazni vodiči.

h) Ako se za nulovanje osim nulvodiča polaže još posebni zaštitni vodič, mora i on biti jednako izoliran kao fazni vodiči, ali crveno obojen. I za nj vrijedi propis pod g), osim ako se naknadno polaže, ali i tada mora biti potpuno izoliran, crveno obojen i brižljivo položen.

i) Olovni plašt kabela ne može se upotrijebiti kao jedini nulvodič, osim kod preinake napona starih instalacija.

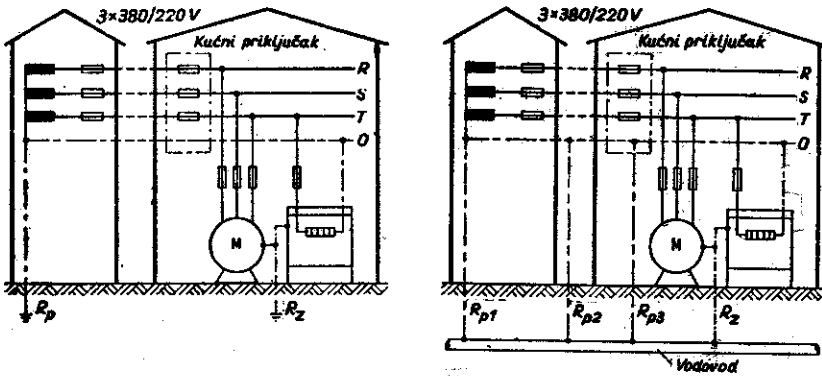
j) Na nadzemnim vodovima nulvodič mora biti najdonji vodič.

---

* 1) 2) 3) Vidi fusnote na strani 569.

7. Zaštitno uzemljenje

Zaštitno uzemljiti znači sve zaštićene dijelove (koji bi mogli doći pod napon) spojiti sa zemljom preko dozemnog vodiča. Razlikuju se dva različita načina uzemljenja: kad se strujni krug zemljospoja zatvara preko zemlje (slika lijevo) i kad se strujni krug zemljospoja zatvara preko vodovodne mreže (slika desno). R_p - pogonsko uzemljenje, a R_z - zaštitno uzemljenje (sl. iz VDE).



Da uzemljenje bude ispravno, potrebno je ovo:

a) Za uzemljenje prema slici lijevo mora biti ispunjen uvjet:

$$R_z \leqq \frac{50}{I_i} = \frac{50}{kI_n} = \frac{50}{2{,}5\,I_n} \qquad \text{za } k = 2{,}5 \text{ prema JUS}^{4)}$$

kako dodirni napon ne bi prešao 50 V. Oznake su jednake kao pod 6a).

b) Za uzemljenje prema slici desno uvjet je jednak kao pod 6a):

$$R_u \leqq \frac{U_f}{I_i} = \frac{U_f}{kI_n} = \frac{U_f}{2{,}5\,I_n} \qquad \text{za } k = 2{,}5 \text{ prema JUS*}$$

c) Dozemni vodič može biti gol ili izoliran. Ako je izoliran i razlikuje se po boji od ostalih vodiča, može se staviti u istu cijev s ostalim vodičima. Inače ga treba staviti u posebnu cijev.

d) Za instalacje u zgradama presjek dozemnog vodiča mora biti jednak presjeku faznog vodiča, ali ne mora biti jači od 50 mm² Cu[5]) ni tanji od 1,5 mm² Cu ako je zaštićen od mehaničkih oštećenja, odnosno 4 mm² Cu ako nije zaštićen od mehaničkih oštećenja.

e) Za dozemne vodiče koji se priključuju na uzemljivače u zemlji treba upotrijebiti pocinčanu Fe-traku barem 35 ili goli Cu-vodič barem 16 mm². Prije uzemljivača dozemni vodič mora imati rastavljivi spoj vijcima.

f) Ako se za uzemljenje upotrebljava vodovodna mreža, treba vodomjere premostiti bakrenim vodičem od 16 mm².

g) Prenosiva trošila uzemljuju se pomoću posebnog vodiča u priključnom vodu (slično kao kod nulovanja) koji mora biti jednakog presjeka kao i fazni vodič (vodiči). Taj dozemni vodič mora biti crvene boje.

h) Presjek zbirnog dozemnog vodiča mora biti barem jednak presjeku dozemnog vodiča najjače osiguranog trošila.

j) Podatke o uzemljivačima vidi u 311 na strani 522.

k) U mreži zaštićenoj prema slici lijevo ne smije se nulovati.

---

* 4) 5) Vidi fusnote na strani 569.

8. Sistem zaštitnog vodiča[6])

Ova dodatna zaštit. mjera nije predviđena jugosl. propisima, ali je vrlo prikladna za zaštitu prostorno ograničenih postrojenja napajanih od posebnog izvora struje (generator, transformator). Svi dijelovi postrojenja pod naponom moraju biti posve izolirani od zemlje, pa i nultačka transformatora i nulvodič (ako ga postrojenje ima). Izolacija prema zemlji mora biti kontrolirana i signalizirana akustički ili optički, npr. pomoću 2 voltmetra u prikladnom spoju. Svi dijelovi postrojenja koji bi u slučaju kvara mogli doći pod napon spoje se na brižno položeni zaštitni vodič koji može biti izoliran (crvene boje) ili gol. Otpor uzemljenja zaštitnog vodiča neka ne prijeđe 20 oma. Budući da je sistem posve izoliran od zemlje, zemljospoj jednog faznog vodiča ne dovodi do prekida opskrbe strujom bilo kojeg trošila, ali kvar treba što prije otkloniti. Ovaj sistem zaštite prikladan je npr. za kazališta, pa za uređaje za nuždu u tvornicama ili robnim kućama — svugdje gdje je važno da kvar ne izazove prekid struje.

9. ZN-sklopke (zaštitne naponske sklopke) (FU-sklopke)[6])

Ova se mjera sastoji od ZN-sklopke s ugrađenom napravom za ispitivanje, zaštitnog vodiča koji zaštićene vodljive dijelove povezuje sa ZN-sklopkom, dozemnog vodiča koji povezuje ZN-sklopku s pomoćnim uzemljivačem i pomoćnog uzemljivača. ZN-sklopka mora isklopiti sve vodiče (i nulvodič) u roku od 0,1 s. Ova mjera slična je zašt. uzemljenju s tom razlikom što je u zašt. odn. dozemni vodič ugrađen svitak ZN-sklopke koji reagira već na malu struju i potiče je da isklopi. Otpor pomoćnog uzemljivača može iznositi do 800 oma ako dodirni napon ne smije prijeći 65 V, odn. 200 oma za 24 V. Radi selektivnosti zašt. vodič smije doći u dodir samo sa vodljivim dijelovima onih naprava koje su zaštićene pripadnom ZN-sklopkom. Preporučuje se da dozemni vodič bude izoliran jer on ne smije premostiti naponski svitak ZN-sklopke. Ova se dodatna zaštitna mjera upotrebljava kad uzemljenje ili nulovanje sami ne zadovoljavaju.

10. ZS-sklopke (zaštitne strujne sklopke) (FI-sklopke)[6])

ZS-sklopka isklapa za najviše 0,1 s ako vektorski zbroj struja u vodu u koji je ona ugrađena nije jednak nuli. Stoga zaštićena naprava (naprave) mora biti uzemljena pa se u slučaju greške strujni krug zatvara i preko zemlje pa vektorski zbroj struja u dovodu nije više jednak nuli i ZS-sklopka isklapa.

---

* Ova odredba JUS je zastarjela i nije u redu. Kod 2,5 puta veće struje osigurači (naročito tromi) sporo se tale i opasni dodirni napon može se održati razmjerno dugo. Stoga novi propisi VDE 0100/11.58, tablica 1, uzimaju faktor 2,5 samo za kabelske i nadzemne mreže uključivši kućni priključak i osigurače u glavnom (uzlaznom) vodu. Za instalacije kod potrošača uzimaju za brze uloške faktor 3,5, a za trome uloške faktor 3,5 samo do 50 A, a od 60 A naviše čak 5. Prema tome za rastalni osigurač 10 A struja greške mora iznositi prema JUS barem 25 A, a prema VDE barem 35 A. Za tromi rastalni osigurač 60 A struja greške mora iznositi prema JUS 150 A, a prema VDE 300 A. Za kućanske automate (prema VDE 0643) VDE daje faktor 2,5, a za vodne automate (prema VDE 0641) 3,5 za instalacije kod potrošača, odn. 2,5 za kabelske mreže i dr. (kao gore). Za brze automatske sklopke (prema VDE 0660) VDE daje faktor 1,25 (tj. iskl. struja=1,25× udešena struja na el. magn. okidaču. Jednako i prijedlog novih jugosl. propisa.

1) JUS ne precizira što se smatra dobrim uzemljenjem. VDE 0100/11.58 traži da ukupni otpor svih pogonskih uzemljenja ne prijeđe 2 oma, a ukupni otpor uzemljenja jednoga ili više uzemljivača neke transformatorske stanice kao i jednoga ili više uzemljivača svakog odvojka (zadnjih 200 m) ne bude veći od 5 oma.

2) Ovo u stvari vrijedi samo za uzemljenje pojedinačnim uzemljivačima prema slici lijevo na strani 568. Potrošač koji se napaja iz jedne transformatorske stanice ne smije svoje postrojenje odn. svoje naprave zaštititi nulovanjem bez suglasnosti nadležnog elektroprivrednog distributivnog poduzeća.

3) Propis u pogledu presjeka je preoštar i mogao bi važiti samo za vodiče do 16 mm², inače znači rasipanje bakra (osim ako nesimetrija trofaznog sistema nije naročito velika). VDE traži ove najmanje presjeke:

Fazni vodiči		do 16	25	35	50	70	95	120	150	185	240	mm²
Nulvodič	I	kao fazni vodiči	16	16	25	35	50	70	70	95	—	mm²
	II		25	35	50	50	50	70	70	95	120	mm²

I — instalacije u cijevima, višežilni vodovi, kabeli, II — nadzemni vodovi, otvoreno položeni goli vodovi.

4) I ovdje JUS uzima faktor $k = 2,5$. (Vidi fusnotu pod*). No ovdje treba reći da razlika prema VDE nije tako velika jer VDE dopušta dodirni napon 65 V pa je u brojniku jednadžbe 65 umjesto 50.

5) Propisi VDE 0100/11.58 razlikuju gole i izolirane zaštine vodiče. Za gole zaštitne vodiče vrijede slične odredbe kao i prema JUS. Izolirani zaštitni vodič mora do 16 mm² Cu imati jednak presjek kao glavni vodič, a iznad toga mora imati presjek prema tablici pod 3).

6) Vidi VDE 0100/11.58, § 11N, 12N i 13N i prijedlog novih jugosl. propisa.

ELEKTRIČNA MJERENJA I ZAŠTITA

Pregled vrsti i oznake mjernih instrumenata

Oznake (simboli) prema JUS L.G1.020/VI-1962 i publikaciji IEC broj 51/1960

Simbol	Naziv	Opis i upotreba
	Instrumenti s pokretnim svitkom (magnetoelektrični instrumenti)	Instrumenti u kojima polje nepomičnog stalnog magneta djeluje na struju koja prolazi kroz jedan ili više pokretnih svitaka. Upotreba samo za istosmjernu struju. Potrošak malen, skala posve linearna. Ampermetri 1 µA, do 100 A, voltmetri 0,1 mV do 1500 V.
	Instrumenti s pokretnim magnetom	Instrumenti u kojima struja u jednom ili više nepomičnih svitaka djeluje na pokretni magnet ili sistem magneta. Upotreba samo za istosmjernu struju, i to uglavnom za instrumente za komandne ploče. Skala približno proporcionalna, ali se može, za naročite svrhe, u granicama rastegnuti i skupiti. Ampermetri 250 µA do 6 A, voltmetri 6 V do 1500 V.
	Instrumenti s pokretnim željezom (feromagnetski instrumenti)	Instrumenti koji sadrže pokretni komad željeza ili dva komada željeza, jedan pokretan a drugi nepokretan, na koji, odnosno na koje djeluje polje nepokretnog svitka kroz koji teče struja. Ne treba voditi struju do pokretnog organa. Mehanički i električki osobito robustni. Upotreba za istosmjernu i izmjeničnu struju. Ampermetri 1 mA do 400 A, voltmetri 1,5 V do 750 V.
	Instrumenti s pokretnim željezom i stalnim magnetom	Instrumenti koji sadrže pokretni komad željeza na koji djeluju nepokretni stalni magnet i struja u nepokretnom svitku.
	Elektrodinamički instrumenti	Instrumenti koji koriste elektrodinamička djelovanja između struja u nepokretnim i pokretnim svicima. Na putu silnica magnetskog toka instrumenti ne sadrže feromagnetske dijelove. U širokom području ovi instrumenti ne ovise o frekvenciji ni višim harmoničkim. Upotreba za precizne vatmetre za istosmjernu i izmjeničnu struju te za precizne varmetre.

Simbol	Naziv	Opis i upotreba
	Ferodinamički instrumenti	Instrumenti u kojima su elektrodinamička djelovanja povećana feromagnetskim materijalom na putu silnica magnetskog toka. Jači zakretni moment nego u elektrodinamičkih instrumenata. Upotreba za pogonske instrumente i pisače (vatmetri i varmetri).
	Indukcioni instrumenti	Instrumenti koji koriste djelovanje nepokretnih elektromagneta na struje koje oni induciraju u pokretnim vodljivim organima. Ampermetri, voltmetri, vatmetri i varmetri za izmjeničnu struju te pokazivala smjera rotacionog polja.
	Instrumenti sa zagrijevnom žicom	Instrumenti u kojima se na pokretni organ prenosi izduženje žice koju direktno ili indirektno zagrijava električna struja. Ampermetri i voltmetri, osobito za mjerenje izmjeničnih struja audio- i radio-frekvencije te za mjerenje nesinusnih izmjeničnih struja.
	Bimetalni instrumenti	Instrumenti u kojima se na pokretni organ prenosi deformacija bimetalnog elementa koji zagrijava električna struja direktno ili indirektno. Karakteristika je velika tromost pa ne pokazuju brze promjene. Imaju veliki zakretni moment. Najviše se upotrebljavaju kao ampermetri, pa i za instrumente s pokazivanjem maksimuma.
	Elektrostatički instrumenti	Instrumenti čiji pokretni organ pokreću elektrostatičke sile. Za mjerenje najviših istosmjernih i izmjeničnih napona kao i VF-napona.
	Vibracioni instrumenti (instrumenti s vibracionim jezičcima)	Instrumenti u kojima metalni jezičci (lamele) dolaze u rezonanciju pod djelovanjem periodične struje koja teče kroz nepokretne svitke kombinirane ili nekombinirane s magnetom. Frekvencmetri (najčešće upotrebljavani), pa i tahometri (mjerila brzine vrtnje).
	Kvocijentni magneto-električni instrumenti	Pomični, ali međusobno kruto vezani unakrsni svici kojima teče struja zakreću se između polova stalnog magneta. Struje u svicima teku tako da zakretni momenti svitaka djeluju jedan protiv drugoga. Kut otklona je u nekoj relaciji s kvocijentom struja. Omometri, pa instrumenti za mjerenje temperature i razna druga specijalna mjerenja.
	Kvocijentni instrumenti s pokretnim magnetom	Instrumenti s pokretnim magnetom koji mjere omjer dviju električnih veličina (na bazi djelovanja unakrsnih svitaka).

Pregled vrsti i oznake mjernih instrumenata (nastavak)

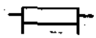
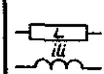
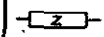
Simbol	Naziv	Opis i upotreba
	Kvocijentni instrumenti s pokretnim željezom	Instrumenti s pokretnim željezom koji mjere omjer dviju veličina. Najčešće se pokretno meko željezo u obliku nepotpuna prstena zakreće pod utjecajem polja dvaju svitaka protjecanih protivnim strujama. Fazmetri, frekvencmetri.
	Kvocijentni elektrodinamički instrumenti	Instrumenti s unakrsnim svicima kao kod kvocijentnih magnetoelektričnih instrumenata, samo što magnetsko polje nije proizvedeno od permanentnog magneta već od 1 ili 2 nepomična svitka protjecana izmjeničnom strujom. Fazmetri, (frekvencmetri) (rijetko se upotrebljavaju).
	Kvocijentni ferodinamički instrumenti	Instrumenti u kojima su elektrodinamička djelovanja povećana feromagnetskim materijalom na putu silnica magnetskog toka. Fazmetri, (frekvencmetri).
	Kvocijentni indukcioni instrumenti	Dva mjerna sistema rade na isti pokretni vodljivi organ i stvaraju protivne zakretne momente, pa je kut zakreta u nekom odnosu s omjerom dviju veličina. Fazmetri, frekvencmetri, razna specijalna mjerila.
	Termospreg neizoliran	Termospreg su dvije žice od različitih metala koje su na jednom kraju zajedno zapajane ili zavarene. Kad se spojno mjesto zagrije, termospreg daje elektromotornu silu (termoelektrični napon).
	Termospreg izoliran	
 1)	Instrumenti s pokretnim svitkom i ugrađenim termospregom	Instrumenti u kojima struja koja se želi mjeriti zagrijava termospreg čiji termoelektrični napon mjeri instrument s pokretnim svitkom (kao milivoltmetar). Ampermetri i voltmetri za visokofrekventna mjerenja te (rjeđe) za precizna mjerenja izmjeničnih struja i napona.
 1)	Instrumenti s pokr. svitkom i odvojenim neizoliranim termospregom	
	Usmjerivači	Naprave, redovito na bazi poluvodiča, za usmjerivanje izmjenične struje.
 2)	Instrumenti s pokretnim svitkom i ugrađenim usmjerivačem	Instrumenti koji su kombinacije osjetljivog instrumenta za istosmjernu struju i usmjerivača, pomoću koje se mogu mjeriti izmjenične struje i naponi. Ampermetri i voltmetri za laboratorijska mjerenja slabih izmjeničnih struja, osobito audiofrekventnih.

1) Može se upotrijebiti i simbol za termospreg gdje to ne dovodi do zabune.
2) Može se upotrijebiti i simbol za usmjerivač gdje to ne dovodi do zabune.

Ostale oznake (simboli) na mjernim instrumentima **335**

prema JUS L.Gl.020/VI-1962 i publikaciji IEC broj 51/1961

Simbol	Značenje oznake (simbola)
—	Istosmjerna struja
∼	Izmjenična struja
	Istosmjerna i izmjenična struja
	Trofazni mjerni sistem s jednim strujnim i jednim naponskim krugom
	Trofazni mjerni sistem sa dva strujna i dva naponska kruga
	Trofazni mjerni sistem sa tri strujna i tri naponska kruga
	Ispitni napon 500 V
	Ispitni napon iznad *500 V* (npr. 2 kV)
	Simbol za instrument bez dielektričkog ispitivanja
⊥	Instrument za vertikalan položaj
	Instrument za horizontalan položaj
	Instrument čiji brojčanik (skala) za vrijeme upotrebe stoji koso prema horizontali.
1,5	*Indeks klase za greške dane u postocima mjernog domašaja (npr. 1,5)*
	Indeks klase za greške dane u postocima dužine skale (npr. 1,5)

Simbol	Značenje oznake (simbola)
	Indeks klase za greške dane u postocima prave vrijednosti (npr. 1,5)
	Upozorenje na odvojeni šant
	Upozorenje na odvojeni predotpornik
	Upozorenje na odvojeni induktivni predotpornik
	Upozorenje na odvojenu *impedanciju*
	Elektrostatički štit
	*Magnetski štit*
ast	Astatički instrument
	*Magnetska indukcija* **koja** odgovara indeksu klase, izražena u desetinama mT (ovdje npr. 0,5 mT)
	Stezaljka za uzemljenje
	Podešavač nule
	Upozorenje na posebnu uputu ili dokument
	Upozorenje da ispitni napon ne odgovara tablici 10 iz JUS L.Gl.020

336a

Klase tačnosti mjernih instrumenata

u skladu sa JUS L.G1.020/VI-1962 i publikacijom IEC br. 51/1960

Indeks klase	Dozvoljena greška	Vrst instrumenata
0,1	± 0,1 %	Najprecizniji laboratorijski instrumenti za baždarenje drugih instrumenata ili za najpreciznija mjerenja.
0,2	± 0,2 %	Precizni instrumenti uglavnom za istosmjernu struju.
0,5	± 0,5 %	Precizni instrumenti uglavnom za izmjeničnu struju.
1	± 1,0 %	Kontrolni instrumenti, stolni i prenosni pogonski instrumenti.
1,5	± 1,5 %	Instrumenti za komandne ploče, grublji prenosni pogonski instrumenti.
2,5	± 2,5 %	Grublji instrumenti za komandne ploče, registrirni instrumenti.
5	± 5,0 %	Najgrublji pokazni instrumenti

Kad se instrument upotrijebi u granicama svojeg mjernog opsega i pod referentnim uvjetima navedenim na narednoj strani njegove greške ne smiju prijeći gore navedene granice.

Dozvoljene greške se izražavaju ovako:

1. Za sve instrumente osim onih koji su navedeni u tačkama 2 do 4 greške se izražavaju u postocima maksimalne vrijednosti mjernog opsega. Maksimalna vrijednost mjernog opsega određuje se na ovaj način:

a) ako je nula na jednom kraju podjele, maksimalna vrijednost mjernog opsega odgovara gornjoj granici mjernog opsega;

b) ako je nula između krajeva podjele, npr. u sredini, maksimalna vrijednost mjernog opsega jednaka je zbroju donje i gornje granice mjernog opsega;

c) ako je nula izvan skale, maksimalna vrijednost mjernog opsega jednaka je razlici vrijednosti gornje i donje granice mjernog opsega);

d) Za fazmetre uzima se da je maksimalna vrijednost mjernog opsega 90 električkih stupnjeva.

2. Za frekvencmetre s jezičcima greške se izračunavaju u postocima prave vrijednosti.

3. Za kvocijentne instrumente (logometre) greške se izražavaju u postocima duljine skale. (Na instrumentu s više skala uzima se duljina skale na kojoj se čita.)

4. Za omometre i instrumente s logaritamskom ili hiperboličnom podjelom greške se izražavaju u postocima duljine skale ili u postocima prave vrijednosti, već prema simbolu koji proizvođač označi na instrumentu (vidi 335).

---

* Fusnota za stranu 575: Ni jedan od napona (između ma kojih faza ili između ma koje faze i neutralne tačke) simetričnog višefaznog sistema ne smije se razlikovati više od 1% od srednje vrijednosti pripadnih napona (međufaznih odnosno faznih). — Ni jedna od faznih struja ne smije se razlikovati više od 1% od srednje vrijednosti struja. — Kutovi koje čine svaka od faznih struja s pripadnim naponom ne smiju se međusobno razlikovati više od 2 stupnja.

Referentni uvjeti

uz koje mjerni instrument pokazuje u granicama tačnosti svoje klase prema JUS L.G1.020/VI-1962 i publikaciji IEC broj 51/1960

1. Referentni uvjeti za napon, struju i faktor snage

Instrumenti	Referentni uvjeti: Napon	Struja	Faktor snage
Vatmetri	Nazivni ± 2%	—	$\cos\varphi = 1$ (sa odstupanjem 0,01) ili nazivni $\cos\varphi \pm 0{,}01$
Varmetri	Nazivni ± 2%	—	$\sin\varphi = 1$ (sa odstupanjem 0,01) ili nazivni $\sin\varphi \pm 0{,}01$
Fazmetri	Nazivni ± 2%	Ma koja struja iz referentnog opsega; ako ovaj nije naznačen, onda 40 do 100% od nazivne struje	—
Frekvencmetri i omometri	Nazivni ± 2% ili ma koji napon u referentnom opsegu	—	—
Višefazni instrumenti	Simetrični naponi*	Simetrične struje*	

2. Referentni uvjeti za ostale utjecajne veličine

Utjecajna veličina	Referentni uvjeti — Vrijednosti: Referentni uvjeti su označeni na instrumentu	Vrijednosti: Referentni uvjeti nisu označeni na instrumentu	Tolerancije: Instrumenti klase 0,1 0,2 0,5	Tolerancije: Instrumenti klase 1 1,5 2,5 5
Temperatura	Referentna temperatura ili bilo koja temperatura unutar referentnog opsega	20° C	± 1° C	± 2° C
Položaj	Referentni položaj	Ma koji položaj	± 1 stupanj Za gravitacione instrumente i instrumente sa slobodnim zavješenjem ± 0,1 stupanj	
Pravac (u pogledu na zemljino magnetsko polje)	N—S	Ma koji pravac	± 5°	
Utjecaj vanjskih magnetskih polja	Odsutnost svakog vanjskog utjecaja		Zemljino magnetsko polje	
Utjecaj feromagnetne ploče	Referentna ploča	Nemagnetna ploča	—	—
Utjecaj vodljive ploče	Referentna ploča	Ma koja ploča	—	—
Frekvencija	Referentna frekvencija ili ma koja frekvencija referentnog opsega	45 do 65 Hz	± 2% ali najviše ± 1/10 nazivnog opsega upotrebe Za jednofazne varmetre i fazmetre ± 0,1%	± 2% Za jednofazne varmetre i fazmetre ± 0,2%
Oblik vala izmjenične struje	Sinusan	Sinusan	Faktor izobličenja ≤ 5% Za instrumente s usmjerivačem ≤ 1%	
Izmjenična komponenta istosmjerne struje	Nula	Nula	1 %	3%

* Vidi fusnotu na strani 574.

336 c Dozvoljene varijacije (dodatne greške) mjernih instrumenata

uz različite vrijednosti pojedinih utjecajnih veličina koje odstupaju od referentnih uvjeta (u skladu s JUS L.G1.020/VI-1962 i publikacijom IEC broj 51/1960

a) Utjecaj temperature okoline. Varijacija ne smije prijeći vrijednost indeksa klase* ako se temperatura okoline promijeni za ± 10° C od referentne temperature.

b) Utjecaj položaja. Varijacija ne smije prijeći vrijednost indeksa klase* ako se instrumentu mijenja položaj za ± 5° od označenog referentnog položaja.

Na instrumentima sa slobodno obješenim pokretnim organom varijacija ne smije prijeći vrijednost indeksa klase* ako se instrumentu mijenja položaj za ± 1° od označenog referentnog položaja.

Na gravitacione instrumente i instrumente s napravom za podešavanje položaja odredbe tačke b) se ne primjenjuju.

c) Utjecaj frekvencije: Varijacija ne smije prijeći vrijednost indeksa klase* ako se frekvencija promijeni za ± 10% od referentne frekvencije, odnosno od gornje i donje granice referentnog opsega frekvencije. Instrumenti s ugrađenim elementima čija se vrijednost mijenja s frekvencijom (induktivni svitak, kondenzator), kao što su npr. jednofazni fazmetar i drugi, izuzimaju se od prednje odredbe.

d) Utjecaj napona. Varijacija instrumenta na čije pokazivanje utječe promjena napona (omometri bez protumomenta, vatmetri, fazmetri, frekvencmetri i dr.) ne smije prijeći vrijednost indeksa klase* ako se napon promijeni za ± 10% od referentnog napona.

e) Utjecaj struje na fazmetre. Varijacija fazmetra ne smije prijeći vrijednost indeksa klase* ako se struja mijenja od 40 na 20% i od 100 na 120% od nazivne struje.

f) Utjecaj faktora snage na vatmetre i varmetre. Varijacija vatmetra za $\cos \varphi = 0$ (induktivno opterećenje) ili varmetra za $\sin \varphi = 0$ i pod nazivnim naponim i nazivnom strujom ne smije prijeći vrijednost indeksa klase*. – Varijacija vatmetra klase 0,1, 0,2 i 0,5 ne smije prijeći vrijednost indeksa klase* kad se vatmetar najprije priključi na nazivni napon i nazivnu struju i polovinu nazivnog $\cos \varphi$, a zatim na nazivni napon, polovinu nazivne struje i nazivni $\cos \varphi$. – Varijacija varmetra klase 0,1, 0,2 i 0,5 ne smije prijeći vrijednost indeksa klase* kad se varmetar najprije priključi na nazivni napon, nazivnu struju i polovinu nazivnog $\sin \varphi$, a zatim na nazivni napon, polovinu nazivne struje i nazivni $\sin \varphi$.

g) Utjecaj vanjskog magnetskog polja. Varijacija uslijed vanjskog magnetskog polja od 0,5 mT[1]) (militesla) ne smije prijeći ove vrijednosti:

Instrumenti	Varijacija za instrumente klase 0,1, 0,2, 0,5	Varijacija za instrumente klase 1 1,5 2,5 5
S pokretnim svitkom, astatički, s magnetskim štitom	± 1,5%	± 3%
Ostali	± 3%	± 6%

h) Utjecaj komandne ploče. Instrumenti se mogu montirati na ploču prema simbolu koji je na njima naznačen:

Simbol	Fe x	Fe	NFe	FeNFe	bez simbola
Materijal ploče	željezo	željezo	ne željezo	ma koji	ne željezo

x u simbolu Fe x je debljina ploče u mm. Ti se instrumenti smiju postaviti samo na ploču označene debljine. Varijacija uslijed utjecaja ploče zanemarljiva je za instrumente Fe, NFe bez obzira na debljinu ploče uz uvjet da je ploča od naznačenog materijala (Fe – željezo, NFe – ne željezo, FeNFe – ma koji materijal). Varijacija uslijed utjecaja željezne ploče debljine ±0,5 mm na instrumente bez simbola ne smije prijeći 1/2 vrijednosti indeksa klase*.

i) Utjecaj nesimetrije struja na rad višefaznih vatmetara i varmetara. Varijacija instrumenta sa dva ili više sistema uslijed nesimetrije struja (JUS L.G1.020, tačka G.102) ne smije prijeći dvostruku vrijednost indeksa klase*.

j) Međusobni utjecaj različitih električnih strujnih krugova višefaznih vatmetara i varmetara. Varijacija višefaznih vatmetara odnosno varmetara uslijed međusobnog utjecaja različitih električnih strujnih krugova ne smije prijeći vrijednost indeksa klase*.

* Ako je indeks klase npr. 1,5, a varijacija ne smije prijeći vrijednost indeksa klase, onda i varijacija iznosi ±1,5%. Ukupna greška instrumenta iznosi tada 1,5 + 1,5 = 3, tj. ±3%.

[1]) Ili uslijed onog magnetskog polja koje je navedeno posebnim simbolom na instrumentu.

Preopteretivost mjernih instrumenata

337a

1. Trajna preopteretivost

Ampermetri klase 1 do 5, vatmetri, varmetri i fazmetri moraju trajno podnositi struju koja iznosi 120% od nazivne struje. Voltmetri klase 1 do 5, vatmetri, varmetri, fazmetri i frekvencmetri moraju trajno podnositi napon koji iznosi 120% od nazivnog napona.

2. Udarna preopteretivost

Instrumenti	Udarna opteretivost izražena višekratnikom nazivne veličine			
	Instrumenti klase 0,1, 0,2, 0,5		Instrumenti klase 1, 1,5, 2,5, 5	
	Višekratnik nazivne struje	Višekratnik nazivnog napona	Višekratnik nazivne struje	Višekratnik nazivnog napona
Ampermetri	2	—	10	—
Voltmetri, frekvencmetri	—	2	—	2
Vatmetri, varmetri, fazmetri	2	1	10	1

Preopterećenje instrumenata klase 0,1 do 0,5 smije trajati sasvim kratko vrijeme ali ipak toliko da kazaljka skrene preko krajnje vrijednosti skale. Preopterećenje instrumenata klase 1 do 5 ne smije trajati dulje od 5 sekunda.

Stare njemačke oznake za klase tačnosti mjernih instrumenata

337b

Oznaka klase	Naziv	Odgovara približno novoj klasi
E	Fini mjerni instrumenti 1. klase	0,2 — 0,5
F	Fini mjerni instrumenti 2. klase	0,5
G	Pogonski mjerni instrumenti 1. klase	1 — 1,5
H	Pogonski mjerni instrumenti 2. klase	2,5

Mjere mjernih instrumenata

337c

za rasklopna postrojenja i aparate, prema DIN 43700

a) Okrugli mjerni instrumenti (mjere u mm)

Promjer čeonog prstena	50	63	83	100	130	188	235	285
Promjer kućišta	40	50	65	80	110	168	200	250
Promjer provrta	41	51	66	82	112	170	203	255

b) Kvadratni i pravokutni instrumenti (mjere u mm)

Čeoni okvir	72×72	96×96	144×144	192×192	96×48	144×72	192×96	288×144
Kućište	66×66	90×90	136×136	184×184	90×42	136×66	184×88	272×126
Izrez	68×68	91×91	138×138	187×187	91×43	138×68	187×91	276×138

338

Proračun predotpornika i porednog otpornika

Proračun predotpornika za voltmetre:

$$R_{pr} = R_v (n - 1)$$

R_{pr} - otpor predotpornika [Ω], R_v - unutarnji otpor voltmetra [Ω], n - faktor koji pokazuje koliko se puta povećava mjerno područje.

Primjer: Voltmetar s mjernim područjem 0 — 1,5 V treba upotrijebiti za mjerenja do 150 V. R_v = 100 Ω, R_{pr} = ? — Izračunamo: n = 150 : 1,5 = = 100, R_{pr} = 100 (100 — 1) = 9900 Ω.

Proračun porednog otpornika (šanta) za ampermetre:

$$R_{po} = \frac{R_a}{n - 1}$$

R_{po} - otpor porednog otpornika (paralelnog otpornika, šanta) [Ω], R_a - unutarnji otpor ampermetra [Ω], n - faktor koji pokazuje koliko se puta povećava mjerno područje.

Primjer: Ampermetar s mjernim područjem 0 — 0,15 A treba upotrijebiti za mjerenja do 60 A. R_a = 3 Ω, R_{po} = ? — Izračunamo: n = 60 : 0,15 = 400, R_{po} = 3 :(400 — 1) = 3/399 = 1/133 Ω.

339

Faktor snage iz mjerenja metodom dvaju vatmetara

Dva se vatmetra spoje prema shemi na strani 600 pa se istovremeno očitaju izmjerene snage P_1 i P_2. Ukupna mjerena snaga jednaka je zbroju $P_1 + P_2$, a faktor snage može se odrediti iz ove tablice:

P_2/P_1	cos φ	P_2/P_1	cos φ	P_2/P_1	cos φ	P_2/P_1	cos φ
1,00	1,00	0,45	0,84	— 0,05	0,46	— 0,55	0,17
0,95	1,00	0,40	0,80	— 0,10	0,43	— 0,60	0,14
0,90	1,00	0,35	0,77	— 0,15	0,39	— 0,65	0,12
0,85	0,99	0,30	0,73	— 0,20	0,36	— 0,70	0,101
0,80	0,98	0,25	0,70	— 0,25	0,33	— 0,75	0,082
0,75	0,97	0,20	0,66	— 0,30	0,30	— 0,80	0,065
0,70	0,96	0,15	0,62	— 0,35	0,27	— 0,85	0,047
0,65	0,94	0,10	0,58	— 0,40	0,24	— 0,90	0,030
0,60	0,92	0,05	0,54	— 0,45	0,21	— 0,95	0,015
0,55	0,90	0	0,50	— 0,50	0,19	— 1,00	0
0,50	0,87						

Predznak minus dolazi ako je otklon jednog vatmetra negativan, odnosno ako je trebalo zamijeniti spoj na stezaljke jednog vatmetra da bi se dobio pozitivan otklon.

Gornja tablica vrijedi neposredno za induktivno opterećenje gdje je $P_2 < P_1$. Ako je $P_2 > P_1$, onda je opterećenje kapacitivno. I tada vrijedi gornja tablica, samo umjesto P_2/P_1 treba staviti P_1/P_2.

Pomoću gornje tablice može se odrediti i prosječni cos φ iz podataka dvaju jednofaznih brojila spojenih poput vatmetara na spomenutoj shemi. (Pazi! Brojila moraju biti za linijski napon!)

Mjerni instrumenti za ugradnju proizvodnje »Iskra«

Svi su instrumenti klase 1,5, svi u bakelitnom kućištu, ispitani naponom 2 kV

Oznaka tipa	Oblik	Mjere čeone prirubnice[1]) mm	Mjere kućišta[1]) mm	Duljina razvijene skale mm	Težina približno kg	Oblik kazaljke
a) **Instrumenti s pokretnim svitkom**, samo za istosmjernu struju; *izrađuju se kao mikroampermetri, miliampermetri, ampermetri, mili*voltmetri, voltmetri i mjerila temperature						
BO 2	okrugli	63 ∅	50 ∅	32	0,15	koplje
BO 3	„	83 ∅	65 ∅	50	0,2	„
BO 4	„	86 ∅	70 ∅	50	0,3	„
BO 5	„	100 ∅	80 ∅	65	0,25	„
BN 1	panelni	85 × 95	65 ∅	60	0,32	nož
BN 3	„	160 × 180	104 ∅	135	1,2	„
BQ 3	kvadratni	144 × 144	136 × 136	100	1,5	koplje
BQ 3q[2])	„	144 × 144	136 × 136	130	1,5	štap
BP 2	četvrtasti	144 × 72	136 × 66	90	1,1	„
b) **Instrumenti s pokretnim svitkom i usmjerivačem**, za izmjeničnu (15 do 300 Hz) i istosmjernu struju; izrađuju se kao mikroampermetri, miliampermetri, ampermetri, voltmetri, nulvoltmetri i dvostruki voltmetri.						
CO 2	okrugli	63 ∅	50 ∅	32	0,15	koplje
CO 3	„	83 ∅	65 ∅	50	0,2	„
CO 4	„	86 ∅	70 ∅	50	0,3	„
CO 5	„	100 ∅	80 ∅	65	0,25	„
CN 1	panelni	85 × 95	65 ∅	60	0,32	nož
CN 3	„	160 × 180	104 ∅	135	1,2	„
CQ 3	kvadratni	144 × 144	136 × 136	100	1,5	koplje
CQ 3q[2])	„	144 × 144	136 × 136	130	1,5	štap
c) **Instrumenti s pokretnim željezom**, za izmjeničnu (15 do 60 Hz) i istosmjernu struju; izrađuju se kao ampermetri i voltmetri.						
FO 2	okrugli	63 ∅	50 ∅	32	0,2	koplje
FO 3	„	83 ∅	65 ∅	43,5	0,22	„
FN 1	panelni	85 × 95	65 ∅	54	0,22	nož
FN 3	„	160 × 180	104 ∅	135	1,2	„
FQ 3	kvadratni	144 × 144	136 × 136	100	1,2	koplje
FQ 3q[2])	„	144 × 144	136 × 136	130	1,2	štap
FP 2	četvrtasti	144 × 72	136 × 66	90	1,1	štap
d) **Elektrodinamički vatmetri i varmetri** za izmjeničnu struju 40 do 60 Hz; izrađuju se kao jednofazni i trofazni jednosistemski vatmetri EQ3 te kao trofazni dvosistemski vatmetri E2Q3 i varmetri E2Q3b.						
EQ 3	kvadratni	144 × 144	134 × 134	100	1,9	koplje
E2 Q3	„	„	„	„	2,4	„
E2 Q3b	„	„	„	„	2,6	„

1) Promjer odnosno širina x visina.
2) BQ3q, CQ3q i FQ3q razlikuju se od BQ3, CQ3 i FQ3 po obliku skale (vidi slike na strani 581).

Mjerna područja ampermetara i voltmetara »Iskra«

a) Tipovi BO 2, BO 3, BO 4, BO 5, BN 1, BN 3, BQ 3, BQ 3q, BP 2*

Mikroampermetri	µA									40	60	100	150	250	400	600
Miliampermetri	mA	1	1,5	2,5	4	6	10	15	25	40	60	100	150	250	400	600
Ampermetri	A	1	1,5	2,5	4	6	10	15	25	40	60	100				
Milivoltmetri	mV						10	15	25	40	60	100	150	250	400	600
Voltmetri	V	1	1,5	2,5	4	6	10	15	25	40	60	100	150	250	400	600

b) Tipovi CO 2, CO 3, CO 4, CO 5, CN 1, CN 3, CQ 3, CQ 3q*

Mikroampermetri	µA											100	150	250	400	600
Miliampermetri	mA	1	1,5	2,5	4	6	10	15	25	40	60	100	150	250	400	600
Ampermetri	A	1	1,5	2,5	4	5										
Voltmetri	V			2,5	4	6	10	15	25	40	60	100	150	250	400	600

c) Tipovi FO 2, FO 3, FN 1, FN 3, FQ 3, FQ 3q, FP 2**

Miliampermetri	mA											100	150	250	400	600
Ampermetri	A	1	1,5	2,5	4	6	10	15	25	40	60	100	150	250		
Voltmetri	V					6	10	15	25	40	60	100	150	250	400	600

d) Voltmetri za nazivnu vrijednost tipa BQ 3v (s pokretnim svitkom) za 24, 60, 110 i 220 V, tipa FQ 3v (s pokretnim željezom) za 100, 110, 220 i 380 V. Mjere npr. od 170 do 250 V.

e) Tipovi FQ 3 i FQ 3q za priključak na mjerne transformatore

Ampermetri su normalno građeni za sekundarnu struju 5 A ili 1 A (ovi posljednji se *upotrebljavaju obično samo u velikim postrojenjima*).

Voltmetri su normalno građeni za sekundarni napon 100 V, izuzetno za 110 V (za priključak na starije naponske transformatore).

U narudžbi treba navesti prenosni omjer mjernih transformatora i izabrati krajnju vrijednost skale (A, kA, V ili kV) iz niza: 1 — 1,2 — 1,5 — 2 — 2,5 — 3 — 4 — 5 — 6 — 8 — 10 ili dekadnih višekratnika ovih brojeva. (Npr. za 35 kV bit će prenosni omjer 35/0,1, a krajnja vrijednost skale 40 kV.)

f) Tipovi FQ 3qo (nul-voltmetri) i F2 Q3 (dvostruki voltmetri) za sinhronizaciju

Nul-voltmetri FQ 3qo izrađuju se za mjerna područja 220, 380 i 500 V te za priključak na mjerne transformatore sekundarnog napona 100 i 110 V.

Dvostruki voltmetri F2 Q3 izrađuju se za mjerna područja 2 x 150, 2 x 250 i 2 x 500 V te za priključak na mjerne transformatore sekundarnog napona 100 i 110 V.

Pad napona u ampermetrima

U ampermetrima »Iskra« s pokretnim svitkom od 15 mA naviše: 60 mV.

U ampermetrima »Iskra« s pokretnim svitkom i usmjerivačem: od 0,1 do 4 mA pad napona iznosi 0,5 do 1 V, a od 6 do 1000 mA pad napona iznosi 0,6 mV.

* BO2 i BO4 do 25 A, BO3 i BN1 do 40 A, BQ3 i BP2 od 0,4 mA, BQ3q od 1 mA. — BO 5 od 25 mV, BQ 3, BQ 3q i BP 2 od 100 mV. — CO 2, CO 4 i CN 1 do 1 A, CO 3 do 600 mA, CO 5 do 1,5 A, CQ 3q od 1 mA. — CO 2 do 250 V.

** FO2, FO3 i FN1 do 25 A, FN3 i FP2 do 100 A. — Mjerna područja nul-voltmetara i dvostrukih voltmetara vidi pod f). — Uz normalne izvedbe »Iskra« izrađuje i ampermetre (od 1 A naviše) i za 100%-tno preopterećenje. Tada ampermetar za npr. 100 A ima skalu do 200 A, ali je skala između 100 i 200 A vrlo stisnuta (vidi sliku na narednoj strani).

U ampermetrima »Iskra« s pokretnim željezom pad napona iznosi:

Miliampermetri	100	150	250	400	600	mA
Pad napona	5,4	3,8	2,4	1,5	1,0	V

Ampermetri	1	1,5	2,5	4	6	10	15	25	40	60	100	150	250	A
Pad napona	670	460	270	180	125	80	70	50	20	22	10	15	14	mV

Unutarnji otpor odn. vlastiti potrošak voltmetara

Unutarnji otpor svih voltmetara »Iskra« s pokretnim svitkom (pa i sa usmjerivačem, dakle tipa B i C) od 25 mV naviše iznosi 1 om/mV (1000 om/V), tj. vlastiti potrošak 1 mA. Unutarnji otpor voltmetara 10 i 15 mV iznosi 0,5 om/mV.

Voltmetri »Iskra« s pokretnim željezom imaju ovaj vlastiti potrošak:

Voltmetar	6	10	15	25	40	60	100	150	250	400	500	600	V
Vlast. potrošak	600	360	220	170	120	77	53	36	22	15	12,5	11	mA

Elektrodinamički vatmetri i varmetri

Elektrodinamički instrumenti s magnetskim štitom za ugradnju: EQ3—jednofazni i trofazni jednosistemski vatmetri[1]), E2Q3—trofazni dvosistemski vatmetri, E2Q3b—trofazni dvosistemski varmetri. Vlastiti potrošak strujne staze oko 3,5 VA/sistem, naponske staze oko 12 mA.

Krajnju vrijednost skale treba odabrati iz ovog niza:

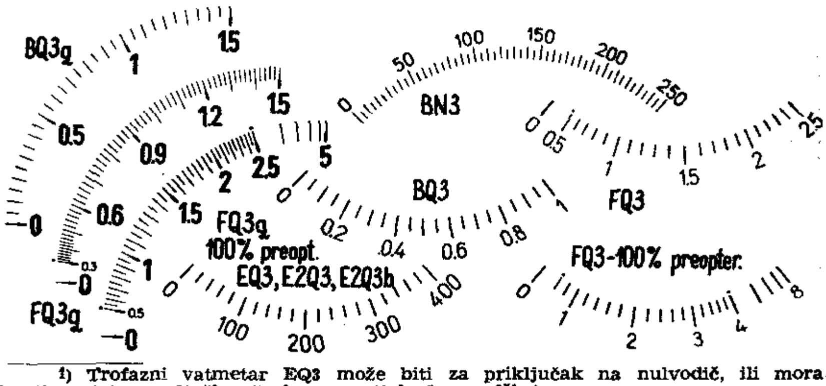
1 — 1,2 — 1,5 — 2 — 2,5 — 3 — 4 — 5 — 6 — 8 odnosno dekadnih višekratnika ovih brojeva[2]).

Mjerna područja[3]): 100 V/5 A — 220 V/5 A — 380 V/5 A — 500 V/5 A. Ostale podatke vidi na strani 580.

Vibracioni frekvencmetri »Iskra«

Izrađuju se kao obični frekvencmetri tipa ZQ 3 za napone 100, 220, 380 i 500 V i kao dvostruki frekvencmetri za sinhronizaciju tipa Z2Q3 za napone 2×100, 2×110, 2×220, 2×380 i 2×500 V. To su kvadratni instrumenti jednakih mjera kao i instrumenti FQ 3, težine 1,15 kg.

Skale mjernih instrumenata »Iskra«



1) Trofazni vatmetar EQ3 može biti za priključak na nulvodič, ili mora imati umjetnu nultačku (treba navesti kod narudžbe).

2) Ako se traži puni otklon kod cos φ odnosno sin φ manje od 1, treba to navesti u narudžbi.

3) U narudžbi treba navesti i mjerno područje, prenosni omjer mjernih transformatora i krajnju vrijednost skale.

341

Prenosni i laboratorijski mjerni instrumenti »Iskra«

a) Prenosni pogonski instrumenti

1. Prenosni ampermetar BL 1 s pokretnim svitkom (samo za istosmjernu struju), u drvenom lakiranom kućištu 165 x 155 x 90 mm, težina oko 1,75 kg, skala duljine 115 mm podložena ogledalom, klasa 1, mjerna područja 3—15—60 A, ili 0,25—1—5—25 A i 60 mV (za priključak odvojenog šanta).

2. Prenosni voltmetar BL 1, mjerna područja 1,5—6—30—150—600 ili 30—150—600 V, unutarnji otpor 1000 om/V, inače kao 1.

3. Prenosni ampermetar FL 1 s pokretnim željezom (za izmjeničnu i istosmjernu struju), u drvenom lakiranom kućištu 165 x 155 x 90 mm, težina oko 2 kg, skala oko 100 mm, klasa 1,5 za izmjeničnu struju, mjerna područja 0,5—1,5—6 A, 6—20—60 A, 12—50—200 A, vlastiti potrošak do 6 odn. 60 A 2 VA, do 200 A 6 VA.

4. Prenosni voltmetar FL 1, mjerna područja 15—30—60 i 150—250—500 V, vlastiti potrošak 6 VA, inače kao 3.

5. Prenosni vatmetar EL 3, elektrodinamički instrument s magnetskim štitom, u drvenom lakiranom kućištu 200 x 165 x 115 mm, težina oko 2,5 kg, klasa 1,5; mjerna područja za struju 0,5 i 1 A, ili 2,5 i 5 A ili 10 i 20 A, za napon 125—250—500 V, vlastiti potrošak strujne staze 4 VA, naponske staze 10 mA.

6. Prenosni frekvencmetar ZL 1, vibracioni instrument, u drvenom lakiranom kućištu, klasa 0,5, mjerno područje 46 do 54 Hz, nazivni napon 100 (110), 220 i 380 V.

7. Prenosno tranzistorsko mjerilo izolacije MA 2020 kombinirano sa voltmetrom za istosmjerni i izmjenični napon, podesno za mjerenje izolacije u energetskim instalacijama. Mjerni istosmjerni napon 500 V stabiliziran na ±1%. Mjerno područje 0,2 do 200 Moma. Napajanje pomoću 2 džepne baterije po 3 V.

8. Prenosno tranzistorsko mjerilo izolacije MA 2022 sa 6 mjernih područja: 3 za napon (5—100—500 V), 2 za otpor izolacije (5 i 50 Mom) i 1 za omski otpor (5 kilooma). Podesno za telefonske instalacije i nadzemne vodove.

9. Mjerilo otpora petlje uzemljenja ili nulovanja ZK 1a, u limenom kućištu 220 x 130 x 70 mm, tež. 1,65 kg; klasa 1,5 za napon, tačnost mjerenja otpora ± 5%; mjerno područje 0 do 250 i 0 do 500 V, 1 do 100 oma.

b) Instrumenti džepne izvedbe za istosmjernu struju

10. Instrumenti s pokretnim svitkom, u bakelitnom kućištu 95 x 85 x 47 mm, težina 0,4 kg, klasa 1. Mikroampermetar BS 2b: 50—100—250—500—1000 mikroamp. Miliampermetar BS 2c: 2,5—10—25—50—100—250—500 mA. Ampermetar BS 2d: 1—2,5—5 A. Milivoltmetar BS 2f: 50—100—250—500—1000 mV. Voltmetar BS 2g: 2,5—10—25—50—100—250—500 V.

11. Omometri, kvocijentni magnetoelektrični instrumenti, u bakelitnom kućištu 95 x 85 x 47 mm, težina 0,35 kg, klasa 1,5. Omometar sa 3 mjerna područja OS 2a: 0 do 100 oma, 0 do 10 koma, 0 do 100 koma. — Omometri s jednim mjernim područjem: OS 2b: 0 do 10 koma, OS 2c 0 do 100 koma.

12. Volt-omometar, BS 2a, kvocijentni magnetoelektrični instrument, u bakelitnom kućištu 95 x 85 x 47 mm, težina 0,4 kg, klasa za napon 1,5, za otpor 2,5; mjerna područja za napon 3—15—60—300 V, za otpor 0 do 5 koma.

c) Precizni mjerni instrumenti

13. Precizni ampermetar BL 2 s pokretnim svitkom (samo za istosmjernu struju), u drvenom lakiranom kućištu 260 x 210 x 150 mm, težina oko 3,6 kg, skala oko 145 mm podložena ogledalom, klasa 0,5 (na zahtjev 0,2), mjerna područja 1—3—10—30—100—300 mA (pad napona 150 do 215 mV) i 0,3—1—3—10—30 A — 60 mV (za priključak odvojenog šanta) pad napona 60 mV).

14. Precizni voltmetar BL 2, 15—30—75—150—300—750 mV (struja 1,5 mA), 3—10—30—100—300—1000 V (struja 3 mA), 60 mV — 3 mA, inače kao 13.

15. Precizni vatmetar EL 2, elektrodinamički instrument s magnetskim štitom, u drvenom lakiranom kućištu 260 x 210 x 150 mm, težina oko 4,5 kg, skala oko 150 mm s ogledalom.

a) Izvedba s punim otklonom pri cos φ = 1, klasa 0,5, mjerna područja 0,5 i 1 A, ili 2,5 i 5 A ili 10 i 20 A. 150—300—450—600 V, potrošak 4 VA u strujnoj stazi, 10 mA u naponskoj stazi.

b) Izvedba s punim otklonom pri cos φ = 0,2, klasa 1, mjerna područja 0,5 1 1 A, ili 2,5 i 5 A ili 10 i 20 A, 75—150—300—450 V, potrošak 4 VA u strujnoj stazi, 30 mA u naponskoj stazi.

d) Univerzalni instrumenti

16. Univerzalni instrument US 3a s pokretnim svitkom i usmjerivačem, za istosmjernu i izmjeničnu struju, u bakelitnom kućištu 200 x 105 x 70 mm, težina 1 kg, klasa 1 za ist. struju, 1,5 za izmj. struju. Mjerna područja za ist. i izmj. struju 1—2,5—10—50—250 mA, 1 i 5 A; za ist. napon 0,1—1—5—25—100—250—1000 V; za otpor 2 do 5000 oma, 20 do 50000 oma i 2 koma do 5 Moma.

17. Univerzalni instrument US 3b, za mjerenje u telekomunikacijama za nekoliko mjernih područja za istosmjernu i izmjeničnu struju i napon te za omski otpor i kapacitet. Instrument je u bakelitnom kućištu 200 x 105 x 70 mm, težina 1,1 kg, klasa 1,5 za istosmjerna i 2,5 za izmjenična mjerna područja.

342

Električna brojila

a) Dozvoljene greške električnih brojila

prema prijedlogu jugosl. standarda JUS L.G2.015/1963 (»Električna brojila, opšti tehnički propisi«) i publikacije IEC br. 43/1960. (»Preporuke za električna brojila izmjenične struje«)*

Jednofazna i višefazna brojila**				Istosmjerna brojila		
		Granice grešaka u %			Granice grešaka u %	
Struja u % nazivne (osnovne) struje[1])	cos φ (sin φ) [2])	Jedno i višefazna brojila simetrično opterećena	Višefaz. brojila kad je opterećen samo 1 mjerni sistem	Struja u % nazivne (osnovne) struje[1])	Dvo- i trovodična brojila simetrično opterećena	Trovodična brojila jednostrano opterećena
5	1,0	± 2,5		5	±5	± 4
10	0,5	± 2,5		20	± 3,5	± 3,5
10 do I_{max}	1,0	± 2		50	± 2,5	± 3
20 do I_{max}	0,5	± 2		10 do I_{max}	± 2,5	
20 do I_{max}	1,0		± 3			
100	0,5		± 3			

Granice grešaka između 5 i 10% kod cos φ = 1 ili 10 i 20% kod cos φ = 0,5 dobiju se tako da se greške prikažu u dijagramu (na apscisi struja, na ordinati greška) pa se greške iz tablice spoje pravcem.

b) Struja pokretanja (prema prijedlogu JUS L.G2.015/1963 i prema IEC)

Rotor brojila mora krenuti i obrtati se dalje pri vrijednosti struje koja je veća ili jednaka ovim postocima nazivne (osnovne)**[1]) struje: indukciono brojilo 0,5%, magnetomotorno brojilo 1%, elektrodinamičko brojilo 2%.

c) Konstanta brojila kod priključka na mjerne transformatore:

$$C = \frac{I_1}{I_2} \cdot \frac{U_1}{U_2}$$

gdje su I_1 i I_2 primarna odnosno sekundarna struja strujnih transformatora, a U_1 i U_2 primarni odnosno sekundarni napon naponskih transformatora. Očitanje brojila treba množiti s konstantom.

d) Mjerenje opterećenja (snage) pomoću brojila i štoperice

Izmjeri se vrijeme za izvjesni broj okreta brojila (npr. za 10), pa se opterećenje izračuna pomoću formule:

$$P = \frac{\text{izbrojani okreti} \cdot 3600}{n \cdot \text{izmjereno vrijeme u sekundama}} \quad [\text{kW}]$$

gdje je n broj okreta brojila za 1 kWh (označen na brojilu). Ako je brojilo priključeno na mjerne transformatore (a nije baždareno za takav priključak), treba ovako izračunato opterećenje pomnožiti gore navedenom konstantom C.

* Član 67. Pravilnika o općim uvjetima isporuke električne energije, Služb. list SFRJ br. 2/64 str. 19 propisuje da je »dopušteno odstupanje« brojila kod potrošača na visokom naponu ± 1,5%, a kod ostalih potrošača ± 3%, ali ne propisuje uvjete kod kojih su dopuštena ta odstupanja pa se te odredbe teško mogu primijeniti. Formalno su, do donošenja JUS-a, još uvijek na snazi posve zastarjela »Pravila o obliku, sastavu i obilježavanju strujomera i o granicama njihove tačnosti« (Min. trgovine i industrije br. 4444/938 od 20. 9. 1938.)

** Vrijedi za brojila za djelatni potrošak i za brojila za jalovi potrošak.

[1]) Npr. za brojilo 10/30 A, 10 A je nazivna (osnovna) struja, a 30 A maksimalna struja.

[2]) cos φ za brojila za djelatni potrošak, i to za 2. i zadnji redak samo za induktivno opterećenje, a za 4. redak za induktivno i kapacitivno opterećenje, sin φ za brojila za jalovi potrošak za induktivno i kapacitivno opterećenje.

e) Električna brojila »Iskra«

iz proizvodnje poduzeća »Iskra«, Kranj

1. Jednofazna brojila

a) Jednotarifna tip E 3, dvotarifna tip E 4D
b) Nazivni naponi 100 V, 110 V, 220 V, 380 V
c) Nazivne struje 5 (10) A, 10 (20) A
5 (15) A, 10 (30) A
5 A za priključak na strujne mjerne transformatore.

Struja u zagradi je trajno dozvoljeno opterećenje u amperima za koje je tačnost brojila još garantirana (za brojila u 1. retku 200%, a za brojila u 2. retku 300% nazivne struje).

d) Struja kod koje brojilo proradi: oko 0,35% nazivne struje.
e) Brzina vrtnje pri nazivnoj struji 24 do 31 okr./min.
f) Brojilo ne kreće u praznom hodu ako napon ne prelazi 120% U_n.
g) Vlastiti potrošak u strujnom krugu brojila pri 5 A oko 0,3 W, 0,75 VA
„ „ „ „ „ „ 10 A „ 0,45 W, 0,85 VA
h) Vlastiti potrošak u naponskom krugu 0,75 W, 3 VA
i) Ispitni napon: 2000 V.
j) Težina brojila: oko 1,57 kg.
k) Pogreška pri cos φ = 1 između 5 i 200 (300)% I_n: manja od ±2%.
l) Pogreška pri cos φ = 0,5 između 10 i 200 (300)% I_n: manja od ±2%.
m) Promjena pokazivanja zbog promjene temperature između 0 i 40° C (referentna temperatura 20° C) manja je od 0,1%/°C.
n) Vlastiti potrošak komandnog svitka dvotarifnog brojila 6 do 10 mA.

2. Trofazna trosistemska brojila za djelatni potrošak

a) Jednotarifna brojila 100% preopteretiva tip T1A
„ „ 200% „ tip T1B
„ „ za priključak preko transformatora tip T1t
b) Dvotarifna brojila 100% preopteretiva tip T1AD
„ „ 200% „ „ T1BD
„ „ za priključak preko mjernih transformatora T1tD
c) Nazivni naponi: Za T1A, T1B, T1AD i T1BD: 3 × 110/190, 3 × 127/220, 3 × 220/380, 3 × 289/500 V; za T1t i T1tD: 3 × 58/100 i 3 × 64/110 V.
d) Nazivne struje: Za T1A i T1AD: 5 (10), 10 (20), 20 (40) A
Za T1B i T1BD: 5 (15), 10 (30), 20 (60) A
Za T1t i T1tD: —/5 A i —/1 A.

Struje u zagradi jesu trajno dozvoljeno opterećenje unutar kojega je tačnost brojila još garantirana.

e) I za ova brojila vrijede podaci pod 1d, f, i, k, l, m.
f) Brzina vrtnje pri nazivnoj struji: 15 do 21 okr./min.
g) Vlastiti potrošak u strujnim krugovima pri nazivnoj struji:

Brojilo	T1A—5A	T1B—5A	T1A—10A	T1B—10A	T1A—20A	T1B—20A
Potrošak	3×0,28 W	3×0,20 W	3×0,45 W	3×0,22 W	3×0,58 W	3×0,45 W
	3×0,31 VA	3×0,23 VA	3×0,48 VA	3×0,24 VA	3×0,60 VA	3×0,47 VA

h) Vlastiti potrošak u naponskim krugovima: 3 × 0,85 W, 3 × 4,0 VA.
i) Težina brojila: oko 3,0 kg.
j) Vlastiti potrošak komandnog svitka dvotarifnog brojila 7,5 do 8 mA.

3. Trofazna trosistemska brojila za jalovi (reaktivni) potrošak

Izrađuje se za jednake napone i struje kao i brojila za djelatni potrošak te imaju s njima jednake karakteristike. Označuju se dodatnim slovom R, npr. T1AR.

4. Trofazna dvosistemska brojila za djelatni potrošak

a) Jednotarifna brojila za direktni priključak: D1A
„ „ „ priključak preko mjernih transformatora D1t
b) Dvotarifna brojila za direktni priključak: D1AD
„ „ „ priključak preko mjernih transformatora D1tD
c) nazivni naponi: Za D1A: 3 × 190, 3 × 220, 3 × 380 i 3 × 500 V
Za D1t: 3 × 100 i 3 × 110 V.
d) Nazivne struje: Za D1A: 5 (10), 10 (20), 20 (40), 30 (60) A
Za D1t: —/5 A i —/1 A.

Struje u zagradi jesu trajno dozvoljeno opterećenje unutar kojega je tačnost brojila još garantirana.

e) I za ova brojila vrijede podaci pod 1d, f, i, k, l.
f) Vlastiti potrošak u strujnim krugovima pri nazivnoj struji:

Brojilo	D1A—5A	D1A—10A	D1A—20A	D1A—30A	D1t—5A	D1t—1A
Potrošak	2×0,31 W	2×0,42 W	2×0,67 W	2×0,83 W	2×0,46 W	2×0,24 W
	2×0,38 VA	2×0,48 VA	2×0,75 VA	2×0,88 VA	2×0,52 VA	2×0,33 VA

g) Vlastiti potrošak u naponskim krugovima: 2 × 1,0 W, 2 × 4,1 VA.
h) Težina brojila: oko 2,35 kg.
i) Promjena pokazivanja zbog promjene temperature između 0 i 40^0 C (referentna temperatura 20^0 C) iznosi oko 0,06%/^{0}C.
j) Vlastiti potrošak komandnog svitka dvotarifnog brojila 7,5 do 10 mA.

Klase tačnosti mjernih transformatora **343**

Klasa 0,1: Za baždarenje, za izvanredno tačna mjerenja u laboratorijima i ispitivaonicama.

Klasa 0,2: Za baždarenje, za vrlo tačna mjerenja u laboratorijima i ispitivaonicama, za mjerenja energije (za obračun) gdje se traži vrlo velika tačnost.

Klasa 0,5: Za priključak brojila gdje se traži velika tačnost, za mjerenja u laboratorijima i ispitivaonicama.

Klasa 1: Za priključak brojila gdje se ne traži velika tačnost, za voltmetre, ampermetre, vatmetre, varmetre, fazometre, frekvencmetre, sinhronoskope, nadstrujne i vatmetričke (usmjerne) releje.

Klasa 3: Za regulatore napona, aparate za paralelno sklapanje, za instrumente gdje se ne traži velika tačnost (npr. voltmetri za kontrolu zemljospoja), za nadstrujne releje, prenaponske i podnaponske releje, vatmetričke (usmjerne) releje, termičke releje, za distantne i impedantne releje, za diferencijalne releje.

Klasa 10: Za diferencijalnu zaštitu (međusobno izbalansirani strujni transformatori!), za kompenzaciju i kompaundiranje regulatora napona, za rasvjetu transformatorskih i rasklopnih stanica.

Dozvoljene greške za naponske transformatore vidi u **348**, a za strujne transformatore u **349**.

344 Osnovna pravila za priključak mjernih transformatora

1. Ako je primarni strujni krug pod naponom, tada se treba kloniti svakog dodira mjernog transformatora.

2. Ako je primarna strana strujnog transformatora pod naponom, tada sekundarna strana ne smije ni u kojem slučaju da bude otvorena: ona mora biti zatvorena preko instrumenata odn. releja ili sekundarne stezaljke moraju biti kratko spojene.

3. Ako je primarna strana naponskog mjernog transformatora pod naponom, tada sekundarna strana smije biti zatvorena samo preko velikog otpora; transformator međutim smije biti sekundarno otvoren.

4. Naponske mjerne transformatore treba na strani visokog napona osigurati u svim polovima, a na strani niskog napona treba osigurati sve vodiče koji nisu uzemljeni.

5. Ako se u nekom mjernom spoju upotrebljavaju i strujni i naponski mjerni transformatori, tada treba uzemljiti jedan pol i kućište svih mjernih transformatora. Presjek dozemnog voda treba da iznosi barem 16 mm^2 Cu. (Osim radi sigurnosti ta su uzemljenja potrebna i stoga što se tako izbjegavaju greške zbog razlika potencijala u mjernim instrumentima.)

6. Ako se u nekom mjernom spoju upotrebljavaju samo strujni mjerni transformatori, a naponske su staze priključene preko predotpornika, ne smije se uzemljivati. Spoj treba tako udesiti da razlike potencijala u mjernom spoju budu što manje.

7. Za javljanje zemljospoja upotrebljavaju se 3 jednofazna naponska mjerna transformatora spojena u zvijezdu koji osim mjernog namota imaju još jedan (pomoćni) sekundarni namot za 100/3 volta. Ta su tri pomoćna namota spojena u otvoreni trokut. Takvi transformatori imaju prenosni omjer na primjer:

$$\frac{10\,000}{\sqrt{3}} \Big/ \frac{100}{\sqrt{3}} \Big/ \frac{100}{3}$$

Osim tri jednofazna transformatora može se uzeti jedan trofazni naponski mjerni transformator koji na 4. i 5. stupu ima pomoćni namot za javljanje zemljospoja. Zvjezdišta takvih transformatora moraju biti u oba slučaja uzemljena.

8. Trofazni naponski mjerni transformatori bez 4. (odn. 4. i 5.) stupa ne smiju se uzemljiti na strani visokog napona (jer bi zbog nejednakog magnetiziranja nastali jaki rasipni tokovi i struje magnetiziranja koje bi uništile takav transformator).

9. Pri izboru strujnih mjernih transformatora treba uvijek provjeriti njihovu mehaničku i termičku čvrstoću s obzirom na naprezanje od kratkog spoja na mjestu ugradnje (vidi 289, str. 473).

10. Za precizna mjerenja energije preporučuje se upotrijebiti precizne mjerne slogove. Mjerni slog smatra se preciznim ako su ispunjeni ovi uvjeti: a) Ako se sastoji od preciznih brojila i mjernih transformatora klase 0,5; b) ako ukupni teret mjernih transformatora (uključivši vodove na sekundarnoj strani) ne prelazi $^2/_3$ njihovog nazivnog tereta; c) ako pad napona u sekundarnim vodovima za brojila ne prelazi 0,05%.

Potrošak najvažnijih instrumenata, brojila, releja i aparata

po kojem se određuje snaga mjernih transformatora

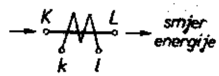
Sprava	Strujna staza VA	Naponska staza VA	Klasa mjernog trafa
Voltmetri elektromagnetski »Iskra«	—	5	1
Voltmetri registracioni	—	5—20	1
Ampermetri elektromagnetski »Iskra«	1	—	1
Ampermetri registracioni	3—20	—	1
Frekvencmetri, vibracioni	—	1—3	3
Frekvencmetri, ferodinamički registracioni	—	5—8	3
Vatmetri i varmetri	2—4	2—8	1
Vatmetri i varmetri registracioni	3—8	4—8	1
Fazometri	3—6	4—7	1
Fazometri registracioni	9—16	8—15	1
Brojila za djelatni ili jalovi potrošak	1—2	2—5	0,5—1
Nadstrujni releji momentalni	0,5—2	—	3
Nadstrujni vremenski releji	3—15	—	3
Vremenski releji »Iskra«	50	—	3
Sekundarni termo-releji	5—9	—	3
Diferencijalni releji, u mirovanju	1—2	—	2
u radu	5—10	—	3
Podnaponski releji	—	7—12	3
Prenaponski releji	—	4—6	3
Prenaponski vremenski releji, trajno	—	1—3	3
kad privuče kotvu	—	25—30	3
Usmjerni releji	2—10	5—25	3
Brzi distantni releji, neuzbuđeni	3—16	0—2	3
uzbuđeni	3—16	4—80	3
Distantni releji, impedantni releji, neuzbuđeni	12—32	8—20	3
uzbuđeni	12—32	30—50	3
Brzi regulatori napona			
za strojeve do 750 kVA, BBC sektorski	30	50	3
za strojeve srednje veličine, BBC sektorski	60 (135)	200	3
za velike strojeve, BBC kolektorski sa servomotorom	90	2×90	3
elektromehanički regulator AEG — Tirrill	—	65	3
za regulacione transformatore	—	30—50	3
Kompenzacija i kompaundiranje regulatora napona	55—135	—	10
Mjerni vodovi 2,5 mm² Cu, po metru	0,18 VA	pri opterećenju sa 5 A	
Mjerni vodovi 4 mm² Cu, po metru	0,11 VA	pri opterećenju sa 5 A	
Mjerni vodovi 6 mm² Cu, po metru	0,07 VA	pri opterećenju sa 5 A	

Primjedbe: 1. Navedene vrijednosti su orijentacione. Razlike u potrošku pojedinih tipova osobito su velike kod releja pa se preporučuje računati sa vrijednostima koje daje proizvođač.

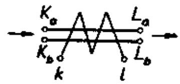
2. Vrijednosti za instrumente odnose se na instrumente za komandnu ploču.
3. Kod trofaz. instrumenata i releja navedene se vrijednosti odnose na jednu fazu.
4. Potrošak se odnosi na nazivni napon 100 V (odn. 110 V) i na nazivnu struju 5 A.
5. Potrošak instrumenata »Iskra« vidi u 340, potrošak brojila »Iskra« vidi u 341, potrošak releja »Iskra« vidi u 354.

346 Oznake stezaljki mjernih transformatora

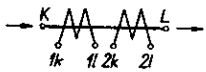
Velika slova označuju stezaljke na primarnoj, a mala slova na sekundarnoj strani.



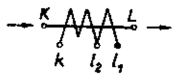
Strujni transformator s 1 jezgrom (npr. 100/5 A).



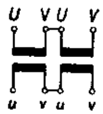
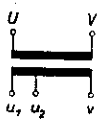
Strujni transformator koji se primarno može prespojiti u serijski odnosno paralelni spoj (npr. 2×100/5 A).



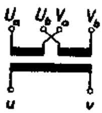
Strujni transformator sa 2 jezgre (npr. 1. jezgra 100/5 A, 30 VA u klasi 1, 2. jezgra 100/5 A, 60 VA u klasi 3).



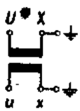
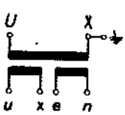
Strujni transformator s odvojcima na sekundarnom namotu (npr. 3000/5 A, 60 VA u klasi 1 i 2000/5 A, 30 VA u klasi 1).

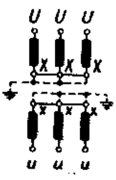
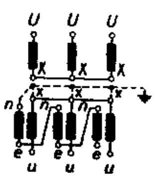
Naponski transformator: lijevo 2 jednofazna dvopolno izolirana transformatora u V-spoju (npr. 10 000/100 V), desno jednofazni dvopolno izolirani transformator sa odvojkom na sek. strani (npr. 10 000/110 i 100 V).



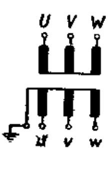
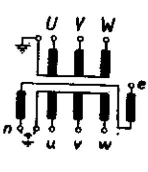
Naponski transformator, jednofazni dvopolno izoliran za serijski i paralelni spoj (npr. 10 000 i 5000/100 V).

Naponski transformatori, jednopolno izolirani; lijevo bez zemljospojnog namota npr. $(10\,000/\sqrt{3})/(100/\sqrt{3})$ V, desno sa zemljospojnim namotom npr. $(10\,000/\sqrt{3})/(100/\sqrt{3})/(100/3)$ V; $UX = 10\,000/\sqrt{3}$ V, $ux = 100/\sqrt{3}$ V, $en = 100/3$ V.

Mjerne grupe od po tri jednopolno izolirana naponska transformatora; lijevo bez zemljospojnog namota, desno sa zemljospojnim namotom.

Trofazni naponski mjerni transformatori; lijevo obični, desno petostupni (npr. 10 000/100/100 V; UV=10 000 V, uv = 100 V, en = 100 V).

Opće odredbe o mjernim transformatorima

347

1. U g r i j a n j e

Dozvoljeno ugrijanje mjernih transformatora jednako je kao i kod energetskih transformatora za iste izolacione klase (vidi 160).

2. I s p i t i v a n j e i z o l a c i j e

Prema standardu JUS N.B0.030/1958 o koordinaciji izolacije (u skladu s publikacijom IEC broj 71/1958) izolacija se ispituje naponima prema tablici 44, str. 108.

Prema VDE 0414/5.58 izolacija namota strujnih transformatora te naponskih transformatora izoliranih u svim polovima, ispituje se naponima prema stupcu C tablice 45, dok se izolacija namota jednopolno izoliranih naponskih transformatora kao i izolacija među zavojima svih naponskih transformatora ispituje naponima prema stupcu D tablice 45 (str. 110).

NAPONSKI MJERNI TRANSFORMATORI

348

prema VDE 0414/5.58

Dozvoljene greške

Klasa	Primarni napon	Sekundarni teret	Sekundarni cos β	Naponska greška ±%	Fazna greška ±% min
0,1 0,2 0,5 1	0,8 do 1,2 U_n	0,25 do 1,0 P_n	0,8	0,1 0,2 0,5 1,0	5 10 20 40
3	1,0 U_n	1,0 P_n	0,8	3,0	—

Osim toga navedene greške unutar gornjih granica moraju biti održane za sve naponske mjerne transformatore snage 60 VA ili više počevši od opterećenja 15 VA (odatle se izuzimaju transformatori klase 3).

Naponska greška naponskog mjernog transformatora kod primarnog napona na stezaljkama U_1 je procentualno odstupanje sekundarnog napona na stezaljkama U_2 pomnoženog sa prenosnim omjerom K od primarnog napona: greška = 100 $(U_2K—U_1)/U_1$. Naponska greška je pozitivna ako je ovaj omjer pozitivan. Fazna (kutna) greška je pozitivna ako sekundarni napon prethodi pred primarnim.

Primarni nazivni naponi

1. *Za nazivne napone do 45 kV:*

220, 380, 500 V

(1), (3), (5), 6, 10, (15), 20, (25), 30, (35), (45) kV ili ove vrijednosti podijeljene sa $\sqrt{3}$.

2. Za nazivne napone 60 do 400 kV:

a) Sa ne kruto uzemljenom nul-tačkom: *(50/$\sqrt{3}$), 60/$\sqrt{3}$, 110/$\sqrt{3}$,* 150/$\sqrt{3}$, 220/$\sqrt{3}$ kV.

b) Sa *kruto uzemljenom nul-tačkom: 110/$\sqrt{3}$, 150/$\sqrt{3}$, 220/$\sqrt{3}$,* 300/$\sqrt{3}$, 400/$\sqrt{3}$ kV.

Sekundarni nazivni naponi

1. Za nazivne napone do 45 kV: 100 ili 100/$\sqrt{3}$ V.
2. Za nazivne napone 60 do 220 kV:
   a) Sa ne kruto uzemljenom nul-tačkom: 100/$\sqrt{3}$ ili 2×100/$\sqrt{3}$ V
   b) Sa kruto uzemljenom nul-tačkom: 2×100/$\sqrt{3}$, 2×200/$\sqrt{3}$ V.
3. Za namote za mjerenje zemljospoja: 100/3 V.

Nazivne snage naponskih mjernih transformatora

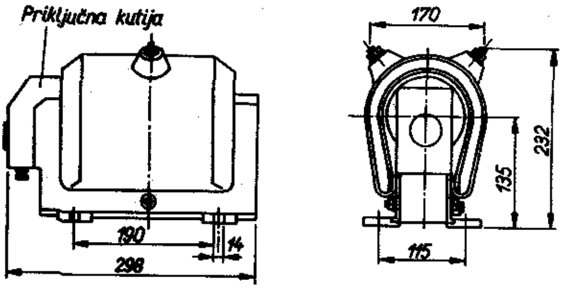
Klasa	Standardne nazivne snage u VA za primarne napone mreže				
	0,5 kV	1 do 6 kV	10 do 45 kV	60 kV	110 do 400 kV
0,2[1])	10	10	15 30	120	120
0,5	15 30	30	30 60 90	240 300	300
1	30 60	60	120 180		

Za zemljospojne namote standardizirane su ove snage: do 45 kV 60/3 VA, 60 do 220 kV 120/3 VA po transformatoru, i to kao granične snage bez naznake klase.

Naponski mjerni transformatori do 12 kV

za unutarnju montažu

1. Suhi epoksidni naponski transformatori »Rade Končar«*



Za unutarnju montažu i najviši pogonski napon 12 kV.

Dvopolni transformatori tip VPA-12, jednopolni transformatori tip VPA 1-12.

Prenosni omjer dvopolnih transformatora: 10 000/100 V.

Prenosni omjer jednopolnih transformatora:

$$\frac{10\,000}{\sqrt{3}} \Big/ \frac{100}{\sqrt{3}} \Big/ \frac{100}{3}\ \mathrm{V}$$

Primarni napon dvopolnih transformatora može iznositi i 6000, 5000 ili 3000 V; analogno kod jednopolnih.

Klasa: 0,2 za nazivnu snagu 30 VA
0,5 „ „ „ 90 VA
1 „ „ „ 180 VA
} Nazivni teret valja navesti u narudžbi

Snaga pomoćnog namota 100/3 V iznosi 60/3 VA.

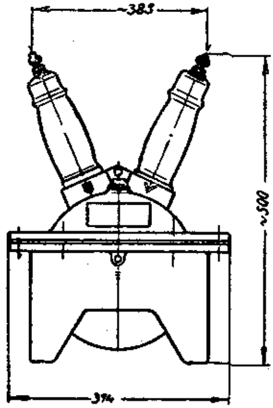
Granična snaga: 500 VA.

Težina transformatora (dvopolnog ili jednopolnog): oko 26 kg.

---

* Slika se odnosi na dvopolne transformatore. Jednopolni transformatori izvana su jednaki kao dvopolni, ali im je izolator u sredini.

2. Malouljni naponski transformatori »Rade Končar«[1])



Dvopolni transformatori:

a) 10000 i 5000*/100 V } tip VKU-12
b) 6000 i 3000*/100 V }

Jednopolni transformatori:

c) $\frac{10\,000}{\sqrt{3}}$ i $\frac{5000^*}{\sqrt{3}} \Big/ \frac{100}{\sqrt{3}} \Big/ \frac{100}{3}$ } Tip VKU 1-12
d) $\frac{6000}{\sqrt{3}}$ i $\frac{3000^*}{\sqrt{3}} \Big/ \frac{100}{\sqrt{3}} \Big/ \frac{100}{3}$ }

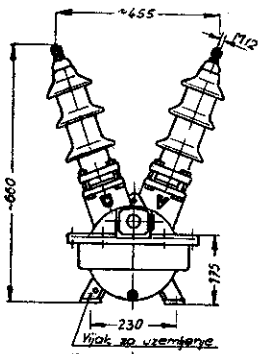
Zajedničke osobine: Ispitni napon prema JUS 35 kV, najviši pogonski napon 12 kV, granična snaga 1000 VA.

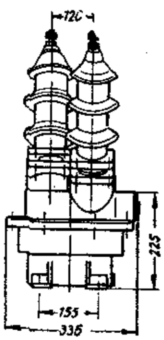
Klasa	0,2	0,5	1	
Snaga	30	90	180	VA

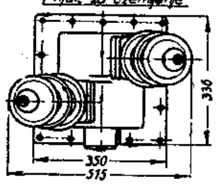
Snaga pomoćnog namota 100/3 V: 90 VA. Težina dvopolnog transformatora 35 kg, jednopolnog 32 kg; od toga ulje 3 kg.

Naponski transformatori do 38 kV

proizvodnje »Rade Končar« tip VKU-38 i VKU1-38 dvopolni odn. jednopolni za unutarnju montažu, tip VKU-38v i VKU1-38v dvopolni odn. jednopolni za vanjsku montažu







Tip VKU-38

Dvopolni transformatori:

a) 35 000/100 V } VKU-38
b) 30 000/100 V } VKU1-38v

Jednopolni transformatori:

c) $\frac{35\,000}{\sqrt{3}} \Big/ \frac{100}{\sqrt{3}} \Big/ \frac{100}{3}$ V } VKU1-38, VKU1-38 v
d) $\frac{30\,000}{\sqrt{3}} \Big/ \frac{100}{\sqrt{3}} \Big/ \frac{100}{3}$ V }

Zajedničke osobine:

Ispitni napon JUS 75 kV.

Najviši pogon. napon 38 kV.

Granična snaga 1000 VA.

Klasa	0,2	0,5	1	
Snaga	30	90	180	VA

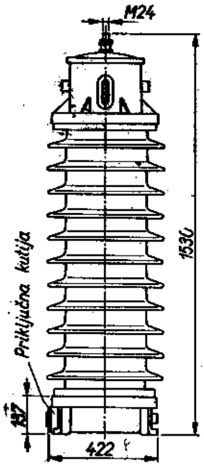
Snaga pomoćnog namota 100/3 V: 120 VA.

Visina VKU1-38 700 mm. Ukupna težina: VKU-38 54 kg, VKU1-38 50 kg, težina ulja 3,5 kg. Transformatori VKU-38v i VKU1-38v imaju veće izolatore pa su viši: 760 odn. 830 mm. Težina im iznosi 55 odn. 52 kg.

[1]) Slika se odnosi na dvopolne transformatore. Jednopolni su izvana jednaki kao dvopolni, ali im je izolator u sredini (visina oko 522 mm).

* Transformatori se mogu lemljenjem ispod poklopca prespojiti od 10 na 5 kV, odn. od 6 na 3 kV ili obratno. Mogu se dakle isporučiti i za 5 odn. 3 kV.

Naponski mjerni transformatori za mreže 110 i 220 kV
proizvodnje »Rade Končar«, za vanjsku montažu



Tip VPU-123

1. Malouljni naponski mjerni transformatori za najviši pogonski napon 123 kV

Tip VPU-123, ispitni napon 230 kV
Prenosni omjer:

$$\frac{110\,000}{\sqrt{3}} \Big/ \frac{100}{\sqrt{3}} \Big/ \frac{100}{3}\ \mathrm{V}$$

Klasa	0,2	0,5	1	
Snaga	120	300	600	VA

Granična snaga 2000 VA.

Snaga pomoćnog namota 100/3 V iznosi 120/3 VA

Težina ulja oko 32 kg, ukupna težina oko 240 kg.

2. Malouljni naponski mjerni transformatori za najviši pogonski napon 245 kV

Tip VPU-245, ispitni napon 460 kV.
Prenosni omjer:

$$\frac{220\,000}{\sqrt{3}} \Big/ \frac{100}{\sqrt{3}} \Big/ \frac{100}{3}\ \mathrm{V}$$ (pomoćni namot prema potrebi)

Klasa	0,2	0,5	1	
Snaga	120	400	900	VA

Granična snaga 2000 VA.

Težina ulja oko 240 kg, ukupna težina oko 800 kg.

3. Kapacitivni naponski mjerni transformatori za najviši pogonski napon 245 kV

Tip VPU-245, ispitni napon 460 kV.

Primarni nazivni napon: $220\,000/\sqrt{3}$

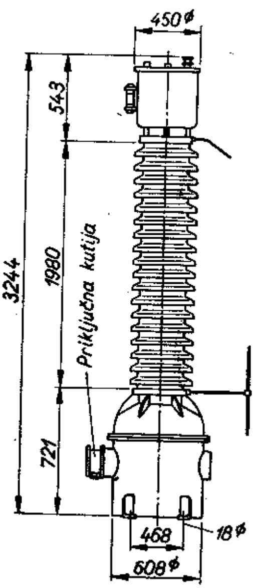
Pogonski kapacitet: 4200 pF ± 10%

Sekundarni nazivni napon: $100/\sqrt{3}$

Klasa 0,5 za nazivnu snagu 130 VA
„ 1 „ „ „ 200 VA

Granična snaga: 2000 VA.

Težina: ulja oko 120 kg, ukupna težina oko 650 kg.



Tip VPU-245

STRUJNI MJERNI TRANSFORMATORI 349

prema VDE 0414/5.58

Dozvoljene greške

Klasa	Naponska greška u ± % kod opterećenja					Fazna greška u ± min kod opterećenja				
	$1{,}2\,I_n$	$1{,}0\,I_n$	$0{,}5\,I_n$	$0{,}2\,I_n$	$0{,}1\,I_n$	$1{,}2\,I_n$	$1{,}0\,I_n$	$0{,}5\,I_n$	$0{,}2\,I_n$	$0{,}1\,I_n$
0,1	0,1	0,1	—	0,2	0,25	5	5	—	8	10
0,2	0,2	0,2	—	0,35	0,5	10	10	—	15	20
0,5	0,5	0,5	—	0,75	1,0	30	30	—	40	60
1	1,0	1,0	—	1,5	2,0	60	60	—	80	120
3	—	3,0	3,0	—	—	—	—	—	—	—

Navedene najveće dozvoljene greške vrijede za strujne transformatore klase 0,1 do 1 za teret između 0,25 i 1 × nazivni teret i za sekundarni cos $\beta = 0{,}8$, a za strujne transformatore klase 3 za teret između 0,5 i 1 × nazivni teret i također za sekundarni cos $\beta = 0{,}8$.

Strujna greška strujnog mjernog transformatora kod nazivne primarne struje I_1 je procentualno odstupanje sekundarne struje I_2 pomnožene sa prenosnim omjerom K od primarne struje: greška $= 100\,(I_2K - I_1)/I_1$. Strujna greška je pozitivna ako je ovaj omjer pozitivan. Fazna (kutna) greška je pozitivna ako sekundarna struja prethodi pred primarnom.

Primarne nazivne struje

1. Za nazivne napone do 45 kV:
   5, 10, 15, 20, 30, 50, 75, 100, 150, 200, 300, 400, 600, 800, 1000, 1500, 2000, 3000, 4000, 6000, 8000 i t. d. do 80 000 A;
   2 x 5, 2 x 10, 2 x 15, 2 x 25, 2 x 50, 2 x 75, 2 x 100, 2 x 150, 2 x 200, 2 x 300, 2 x 400 A.
2. Za nazivni napon 60 kV: 2 x 50, 2 x 75, 2 x 100, 2 x 150, 2 x 200, 2 x 300 A.
3. Za nazivne napone 110 i 150 kV: 4 x 50, 4 x 100, 4 x 150 A.
4. Za nazivne napone 220 i 300 kV: 4 x 100, 4 x 150, 4 x 300 A.
5. Za nazivni napon 380 kV: 4 x 300 A.

Sekundarne nazivne struje

1. Za nazivne napone do 45 kV: 5 ili 1 A (za primarne nazivne struje od 4000 A naviše i 10 A).
2. Za nazivne napone 60 do 380 kV:
   a) za sve jezgre 5 ili 1 A,
   b) samo za zaštitne jezgre i 2 x 5 ili 2 x 1 A.

Definicije nekih pojmova kod strujnih mjernih transformatora

Nazivni teret je ukupni otpor u omima koji se smije priključiti na sekundarnu stranu transformatora s obzirom na granice greške. Produkt nazivnog tereta i kvadrata sekundarne struje jednak je nazivnoj snazi.

Nadstrujni broj je višekratnik primarne nazivne struje kod kojega strujna greška kod pogonskog tereta uslijed zasićenja željezne jezgre iznosi —10%.

Termička granična struja je najveća efektivna vrijednost primarne struje koju strujni mjerni transformator, kod kratko spojenog sekundarnog namota, može izdržati jednu sekundu, a da ne bude oštećen.

Dinamička granična struja je najveća vrijednost prve amplitude struje koju strujni transformator, kod kratko spojenog sekundarnog namota, može izdržati, a da ne bude oštećen od mehaničkih sila koje uzrokuje ta struja.

Nazivne snage strujnih mjernih transformatora

	Klasa	Nazivna snaga u VA za strujne transformatore do 45 kV	60 kV i više
Jezgre za mjerenje	0,2[1])	5 10 15	15
	0,5	5 10 15 30	30
	1	5 10 15 30 60	—
Jezgre za zaštitu	1	5 10 15 30 60	30 60
	3	5 10 15 30 60	— —

Naši proizvođači izrađuju strujne transformatore nazivne snage i 45 i 90 VA.

Primjedba: Kako se vidi, novi propisi VDE 0414/5.58 ne predviđaju klasu 1 za mjerne jezgre strujnih transformatora od 60 kV i više ni klasu 3 za zaštitne jezgre. Stariji propisi VDE 0414/I.42 obuhvaćali su i ove klase.

Nadstrujni broj

S obzirom na besprijekoran rad nadstrujne zaštite potrebno je da greške zaštitnih jezgri u nadstrujnom području budu dovoljno male. Mjera za to je nadstrujni broj u obliku $n > x$. Kod mjernih jezgri treba naprotiv radi zaštite priključenih instrumenata da sekundarna nadstruja ne bude prevelika, a time i nadstrujni broj treba da bude što manji. On se u tom slučaju navodi u obliku $n < x$.

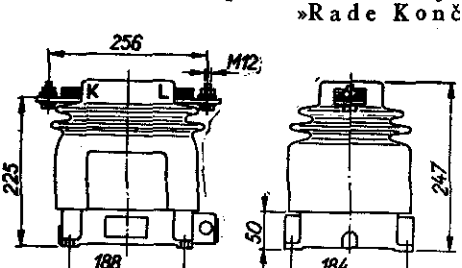
Prema VDE 0414/5.58 nadstrujni broj za mjerne jezgre treba da bude $n < 10$*, a za strujne transformatore 60 kV naviše preporučuje se da bude $n < 5$*. Za zaštitne jezgre treba da bude do 45 kV $n > 5$ ili $n > 10$, a za 60 kV i više $n > 10$ ili $n > 20$.

Nezavisno od propisa VDE preporučuje se nadalje: za precizne pogonske mjerne instrumente i precizna brojila $n < 5$ do $n < 10$, za normalne pogonske mjerne instrumente $n < 10$, za nezavisne nadstrujne releje $n < 10$, za zavisne i ograničeno zavisne nadstrujne releje $n > 10$, za diferencijalne releje $n > 10$, za distantne releje $n > 10$ do $n > 20$.

Nadstrujni brojevi koji se navode za pojedine strujne transformatore važe za nazivni teret. Umnožak nadstrujnog broja i tereta je približno konstantan. Ako je kod tereta 60 VA nadstrujni broj $n = 5$, tada je kod tereta 30 VA $n = 10$. Radi bolje zaštite mjernih instrumenata preporučuje se opteretiti strujni transformator po mogućnosti nazivnim teretom.

Strujni mjerni transformatori za najviši napon mreže do 12 kV

1. Suhi epoksidni strujni transformatori »Rade Končar«



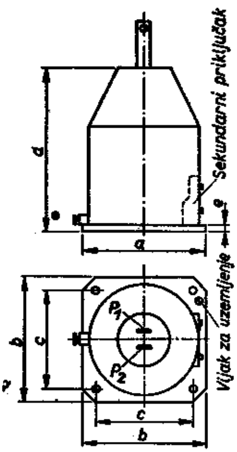
Za unutarnju montažu.
Tip APA-12 s 1 ili 2 jezgre.
Mjerna jezgra klasa 0,5, $n < 5$.
Relejna jezgra klasa 1, $n > 10$.
Primarna struja: 2 x 10, 2 x 15, 2 x 20, 2 x 30, 2 x 50, 2 x 75, 2 x 100, 2 x 150, 2 x 200, 2 x 300, 2 x 400 A.
Sekundarna struja: 5 A.
Čvrstoća u kratkom spoju:
$I_{term} = 100\, I_n$, $I_{din} = 250\, I_n$

Nazivni teret mjerne jezgre: 30, 45 ili 60 VA, nazivni teret relejne jezgre: 30, 45 ili 60 VA. Strujni transformatori se grade s jednom ili sa dvije jezgre — prema zahtjevu. Težina oko 23 kg.

[1]) Transformatori klase 0,2 za 60 kV i više moraju biti tako građeni da ne prekoračuju granice greške za klasu 0,5 (pri čemu im nadstrujni broj ne smije prijeći 5) kad su opterećeni dvostrukim nazivnim teretom (snagom).

* Tolerancija na netačno određivanje n uzima se 10% tako da $n = 11$ odn. 5,5 zadovoljava još gornje uvjete.

2. Suhi epoksidni strujni transformatori »Energoinvest«



Za unutarnju montažu.

Tip TSB5, model I i II s jednom jezgrom, model III sa dvije jezgre.

Nazivna snaga strujnih transformatora s jednom jezgrom:

Klasa 0,5: model I 15 VA, model II 30 VA

Klasa 1: model I 30 VA, model II 60 VA

Nazivna snaga strujnih transformatora sa dvije jezgre:

Mjerna jezgra: klasa 0,5, 30 VA ili klasa 1, 60 VA

Relejna jezgra: klasa 1, 30 VA ili klasa 2*, 60 VA

Primarne nazivne struje: 1, 1,5, 2, 2,5, 4, 5, 6, 7,5, 10, 12,5, 15, 20, 25, 30, 40, 50, 60, 75, 100, 125, 150, 200, 250, 300, 400, 500, 600 A ili (prespojivo) 2 x 1 do 2 x 300 A.

Sekundarna nazivna struja: 5 A.

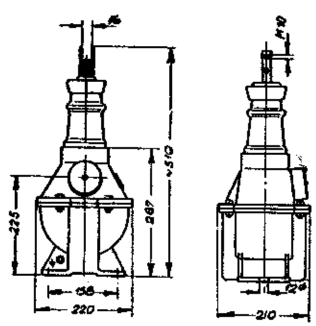
Čvrstoća u kratkom spoju:

$$I_{term} = 80 I_n, \quad I_{din} = 200 I_n$$

Mjere u milimetrima i težine

	a	*b*	*c*	*d*	*e*	kg
Model I:	155	165	130	212	6	10
Model II:	175	185	150	255	6	13
Model III:	220	240	190	300	8	23

3. Malouljni strujni transformatori »Rade Končar«



Tip AKU - 12, za unutarnju montažu, sa 1 jezgrom

Klasa 1, sekundarna struja 5 A.

Primarna struja: 2 x 5, 2 x 10, 2 x 15, 2 x 20, 2 x 30, 2 x 50, 2 x 75, 2 x 100, 2 x 150, 2 x 200 A.

30 VA za $n < 10$, 45 ili 60 VA za $n < 5$,
30 VA za $n > 10$, 30, 45 ili 60 VA za $n > 5$.

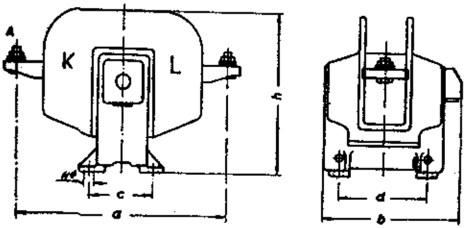
Termička granična struja $I_t = 90 I_n$

Dinamička granična struja $I_d = 225 I_n$

Približna težina 19 kg, od toga ulje 1,5 kg.

* Prema francuskim propisima UTE.

4. Otvoreni suhi strujni transformatori »Rade Končar«

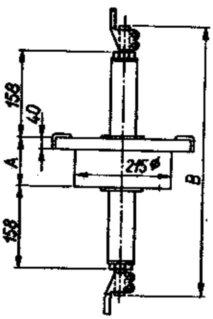


Unutarnja montaža.
Tip AOP - 10 s jednom jezgrom
Tip AOP2-10 sa dvije jezgre.
Klasa 1, sekundarna struja 5 A.
Primarna struja: 10, 15, 20, 30, 40, 50, 60, 75, 100, 150, 200, 300, 400, 600 A.
1. jezgra: 30, 45, 60 VA, n < 5
2. jezgra: 30 VA, $n > 10$
45 VA, $n > 5$

Termička gran. struja $I_t = 100 I_n$, dinamička gran. struja $I_d = 250 I_n < 100$ kA.

Mjere mm	*a*	*b*	*c*	*d*	*h*	Vijak A	Težina
Tip AOP — 10	325	220	110	150	250	Do 200 A: M 12	12 kg
Tip AOP 2 — 10	325	258	110	150	288	Do 600 A: M 16	12 kg

5. Štapni strujni transformatori »Rade Končar«



Za unutarnju montažu.
Tip ASA-12 s jednom jezgrom, ASA-2-12 sa 2 jezgre.
Sekundarna struja 5A.
Primarna struja: 600, 800, 1000, 1500 i 2000 A.
Tip ASA-12: Klasa 0,5, 1 ili 3; nadstrujni broj $n < 10$, $n < 5$ ili $n > 10$; snaga 15, 30, 45 ili 60 VA.
Tip ASA2-12: Mjerna jezgra: Klasa 0,5 ili 1; $n < 10$ ili $n < 5$; snaga 15, 30, 45 ili 60 VA.
Relejna jezgra: Klasa 1 ili 3; n > 10; snaga 30, 45 ili 60 VA.
$I_{term} = 60\ I_n$, I_{din} — praktički neograničeno.
Mjere: Za 1 jezgru: A 170, B 660; za 2 jezgre A 230, B 715 mm. Težina oko 28 kg.

Strujni mjerni transformatori za najviši napon mreže 38 kV

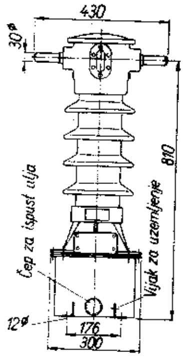
1. Epoksidni strujni transformatori »Energoinvest«

Za unutarnju montažu.
Tip TSB 7, model II s jednom jezgrom, model III sa dvije jezgre } Oblik sličan kao TSB5, str. 595.
Nazivna snaga strujnih transformatora s jednom jezgrom (model II):
Klasa 0,5, 30 VA ili klasa 1, 60 VA
Nazivna snaga strujnih transformatora sa dvije jezgre (model III):
Mjerna jezgra: klasa 0,5, 30 VA ili klasa 1, 60 VA
Relejna jezgra: klasa 1, 30 VA ili klasa 2*, 60 VA
Primarne nazivne struje: 1, 1,5, 2, 2,5, 4, 5, 6, 7,5, 10, 12,5, 15, 20, 25, 30, 40, 50, 60, 75, 100, 125, 150, 200, 250, 300, 400, 500, 600 A ili (prespojivo) 2 x 1 do 2 x 300 A. Sekundarna nazivna struja 5 A.
Čvrstoća u kratkom spoju: $I_{term} = 80\ I_n$, $I_{din} = 200\ I_n$
Mjere u mm (vidi mjernu skicu na strani 595 gore) i težine

	a	*b*	*c*	*d*	*f*	kg
Model II	220	270	190	300	250	33
Model III	250	300	210	330	270	33,5

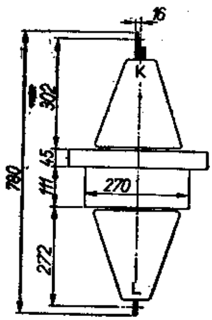
* Prema francuskim propisima UTE.

2. Malouljni strujni transformatori »Rade Končar«



Za vanjsku montažu.
Tip AKU-38v s jednom jezgrom, AKU2-38v s 2 jezgre.
Sekundarna struja 5 A.
Primarna struja: 2 x 15, 2 x 20, 2 x 30, 2 x 50, 2 x 75, 2 x 100, 2 x 150, 2 x 200, 2 x 300, 2 x 400 A.
Tip AKU-38v: Klasa 0,5, 1 ili 3; $n < 10$, $n \not< 5$ ili $n > 10$; snaga 15, 30, 45 ili 60 VA.
Tip AKU2-38v: Mjerna jezgra: Klasa 0,5 ili 1; $n < 10$ ili $n < 5$; snaga 15, 30, 45 ili 60 VA.
Relejna jezgra: Klasa 1 ili 3; $n > 10$; snaga 30, 45 ili 60 VA.
$I_{term} = 100\, I_n$, $I_{din} — 250\, I_n$.
Ukupna težina oko 64 kg, težina ulja oko 5 kg.

3. Epoksidni provodni strujni trasformatori »Rade Končar«



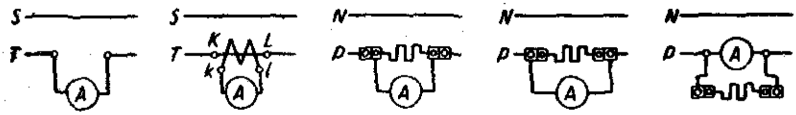
Za unutarnju montažu.
Tip ADA-38 s jednom jezgrom, ADA2-38 s 2 jezgre.
Sekundarna struja 5 A.
Primarna struja: 2 x 15, 2 x 20, 2 x 30, 2 x 50, 2 x 75, 2 x 100, 2 x 150, 2 x 200, 2 x 300, 2 x 400 A.
Tip ADA-38: Klasa 0,5, 1 ili 3; $n < 10$, $n < 5$ ili $n > 10$; snaga 15, 30, 45 ili 60 VA.
Tip ADA2-38: Mjerna jezgra: Klasa 0,5 ili 1; $n < 10$ ili $n < 5$; snaga 15, 30, 45 ili 60 VA.
Relejna jezgra: Klasa 1 ili 3; $n > 10$; snaga 30, 45 ili 60 VA.
$I_{term} = 100\, I_n$, $I_{din} = 250\, I_n$.
Težina oko 32 kg.

Strujni mjerni transformatori za nazivni napon mreže 110 i 220 kV
za vanjsku montažu

Tip APU — 123 za nazivni napon mreže 110 kV i najviši pogonski napon 123 kV.
Tip APU — 245 za nazivni napon mreže 220 kV i najviši pogonski napon 245 kV.
Visina strujnog transformatora APU-123: 1725 mm.
Visina strujnog transformatora APU-245: 2700 mm.
Strujni mjerni transformatori APU-123 i APU-245 grade se sa 2 jezgre.
Mjerna jezgra: Klasa 0,5 ili 1; $n < 10$ ili $n < 5$; nazivna snaga 30, 45 ili 60 VA.
Relejna jezgra: Klasa 1 ili 3; $n > 10$; nazivna snaga 30, 45 ili 60 VA.
Sekundarna nazivna struja 5 A.
Primarna nazivna struja: 2 × 50, 2 × 75, 2 × 100, 2 × 150, 2 × 200, 2 × 300, 2 × 400 A.
Čvrstoća u kratkom spoju: $I_{term} = 100\, I_n$, $I_{din} = 250\, I_n$.
Težina APU-123 ukupno oko 280 kg, od toga ulje oko 60 kg.
Težina APU-245 ukupno oko 750 kg, od toga ulje oko 200 kg.

350 SHEME SPOJA ZA NEKA OSNOVNA MJERENJA

Mjerenje struje

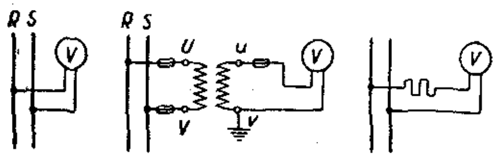


Ispravno Neispravno Neispravno

a) Direktno b) Preko strujnog transformatora c) Uz upotrebu porednog otpornika (šanta)

Primjedbe: 1. Kod visokog napona uzemlji sekundarnu stezaljku k (ili l) strujnog transformatora. — 2. Strujni transformator ne smije nikada sekundarno biti otvoren. Ako želimo odvojiti instrument, treba strujni transformator prije toga kratko spojiti. — 3. Ako se mjeri uz upotrebu porednog otpornika (paralelni otpornik, šant), treba upotrijebiti baždarene priključne mjerne vodiče jer je mjerenje inače netačno. — 4. Izračunavanje porednog otpornika vidi u 338.

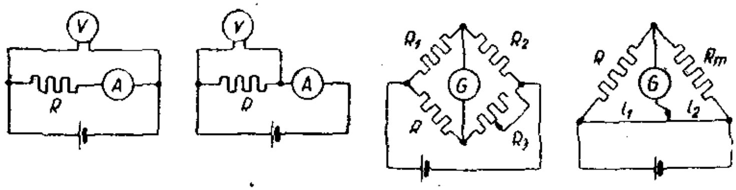
Mjerenje napona



Direktno Preko naponskog transformatora Uz upotrebu predotpornika

Primjedbe: 1. Osnovna pravila za priključak mjernih transformatora vidi u 344. — 2. Izračunavanje predotpornika vidi u *338*.

Mjerenje otpora

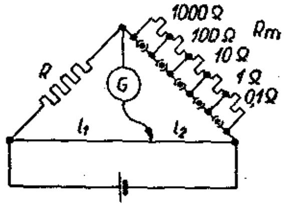


Mjerenje $U-I$ metodom Mjerenje Wheatstone-ovim (Uictnovim) mostom

a) za velike otpore	b) za male otpore	c) s čvrstim omjerom R_1/R_2	d) s kliznom žicom
$R=\dfrac{U-IR_a}{I}$	$R=\dfrac{U}{I-i}$	$R=R_3\dfrac{R_1}{R_2}$	$R=R_m\dfrac{l_1}{l_2}$

Primjedbe: Uz a) i b): U - napon izmjeren voltmetrom, I - struja izmjerena ampermetrom, R_a - (unutarnji) otpor ampermetra, i - struja kroz voltmetar $i = U/R_v$ (R_v - otpor voltmetra). — Uz c) R_3 se dotle mijenja dok most

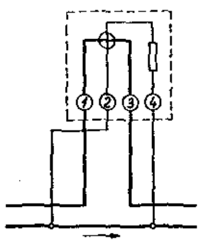
Mjerenje otpora (nastavak)



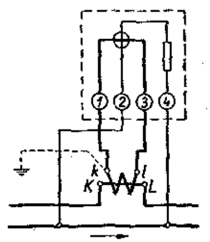
ne bude u ravnoteži (tj. galvanometar G ne pokazuje otklon). — Uz d): *Klizni kontakt* se dotle pomiče *dok most* ne bude u ravnoteži (tj. galvanometar G ne pokazuje otklon). Obično je promjenljiv i otpor R_m, npr. prema slici lijevo, pa je onda mjerno područje takvog mosta znatno veće.

Mjerenje snage

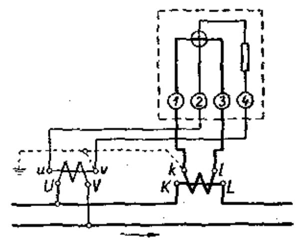
a) U jednofaznom sistemu



Direktno mjerenje

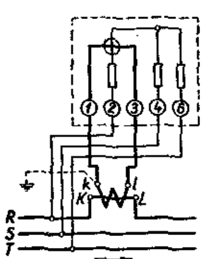


Poluindirektno mjerenje

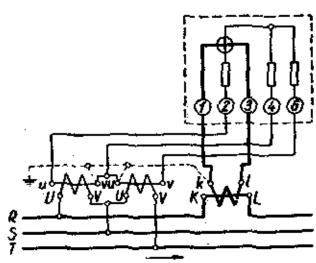


Indirektno mjerenje*

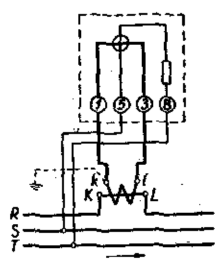
b) U trofaznom sistemu s 3 vodiča



Poluind. mjerenje jednosistemskim vatmetrom[1])



Indirektno mjerenje jednosistemskim vatmetrom*[1])



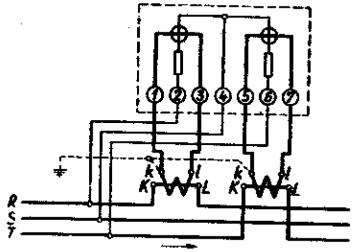
Poluind. mjerenje jednosistemskim varmetrom

---

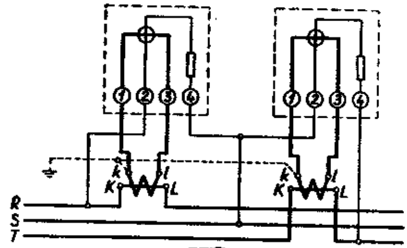
* Naponski mjerni transformatori treba da su osigurani u svim polovima osiguračima 4 ili 6 A.

[1]) 3 nacrtana otpornika čine umjetno zvjezdište. Oni su ugrađeni u vatmetre za komandne ploče (npr. »Iskra« EQ3). Otpornik u seriji s naponskom stazom vatmetra mora imati manji otpor od ostala dva, i to za otpor naponske staze. Ako je nulvodič pristupačan, ne treba *umjetnog zvjezdišta*, već treba naponsku stazu priključiti između jednog faznog vodiča i nulvodiča. Ukupna snaga dobije se tako da se izmjerena snaga pomnoži sa 3. (Vatmetar »Iskra« EQ3 već je baždaren za ukupnu snagu.)

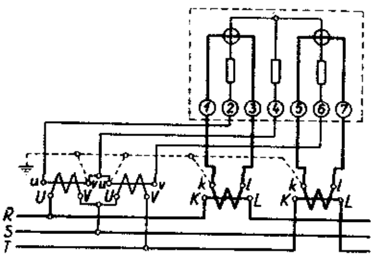
b) Mjerenje snage u trofaznom sistemu s 3 vodiča (nastavak)



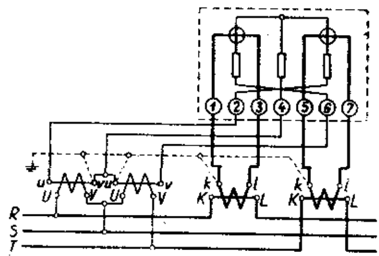
Poluindirektno mjerenje dvosistemskim vatmetrom



Poluindirektno mjerenje dvjema jednosistemskim vatmetrima¹)

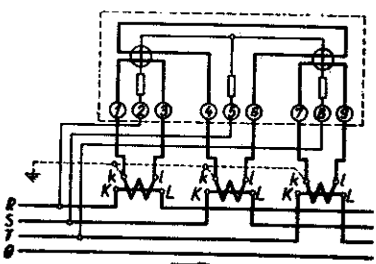


Indirektno mjerenje dvosistemskim vatmetrom*

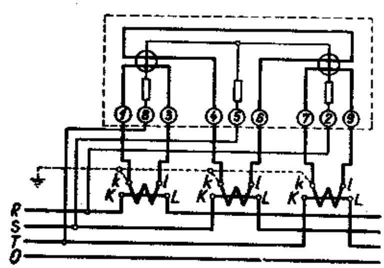


Indirektno mjerenje dvosistemskim varmetrom*

c) U trofaznom sistemu sa 4 vodiča



Poluindirektno mjerenje trofaznim vatmetrom



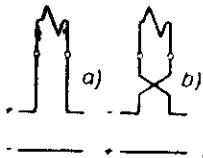
Poluindirektno mjerenje trofaznim varmetrom

---

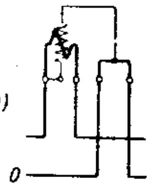
* Naponski mjerni transformatori treba da su osigurani u svim polovima osiguračima 4 ili 6 A.

¹) Ukupna snaga dobije se tako da se podaci obih vatmetara zbroje ako su otkloni istog smjera. Ako kazaljka jednog vatmetra udara prema negativnom smjeru, treba mu zamijeniti polove naponskog svitka da se dobije pozitivni otklon. Tada treba manju snagu odbiti od veće da se dobije ukupna snaga. — Iz podataka dvaju vatmetara može se odrediti i cos φ prema tablici 339. — Za spajanje po gornjim shemama nije potrebno znati smjer rotacionog polja. Jedna, po volji odabrana faza može se uvijek smatrati srednjom fazom S, a s obzirom na faze R i T spoj je posve simetričan, pa je svejedno koja je faza R, a koja T.

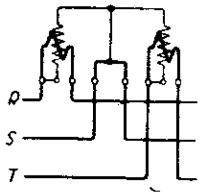
Sheme za priključak električnih brojila



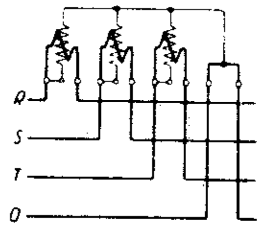
1. Ampresatno istosmjerno brojilo:
a) u + vodiču
b) u − vodiču



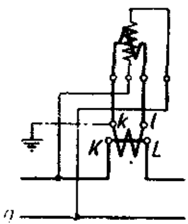
2. Istosmjerno ili izmjenično jednofazno brojilo



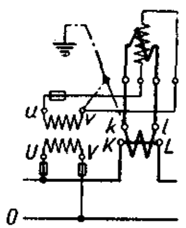
3. Trofazno dvosistemsko brojilo



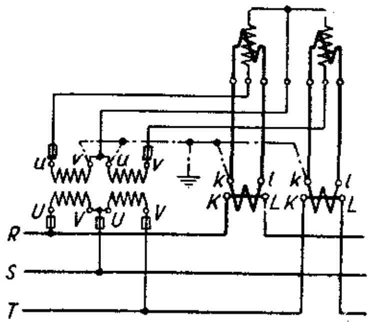
4. Trofazno trosistemsko brojilo



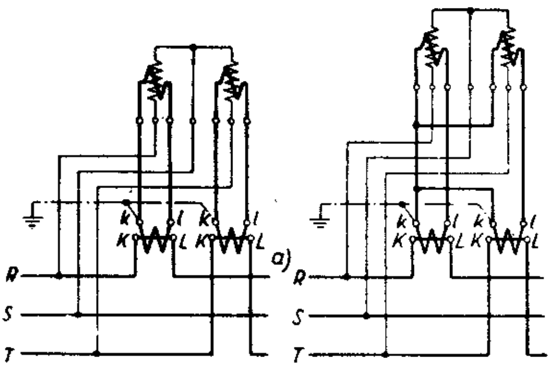
5. Jednofazno brojilo sa strujnim transformatorom



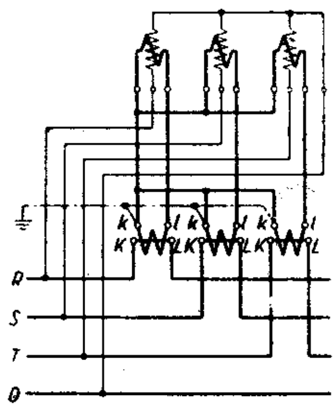
6. Jednofazno brojilo sa strujnim i naponskim transformatorom



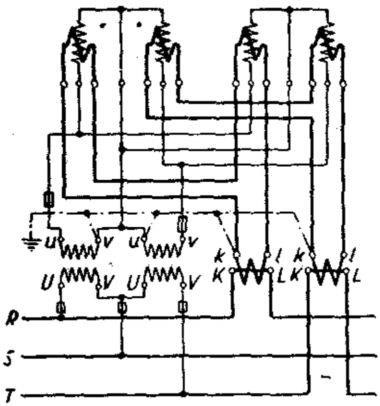
7. Trofazno dvosistemsko brojilo sa dva strujna i dva naponska transformatora



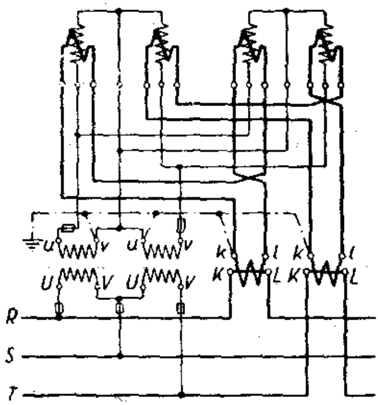
8. Trofazno dvosistemsko brojilo sa dva strujna transformatora:
a) s odvojenim vodičima
b) sa zajedničkim vodičem u sekundarnom strujnom krugu



9. Trofazno trosistemsko brojilo sa tri strujna transformatora, sa zajedničkim vodičem u sekundarnom strujnom krugu



10. Dva trofazna dvosistemska brojila sa dva strujna i dva naponska transformatora u kontrolnom spoju



11. Dva trofazna dvosistemska brojila za mjerenje energije u jednom i drugom smjeru, sa 2 strujna i 2 naponska transformatora. (Brojila se mogu okretati samo u jednom smjeru.)

MJERENJE OTPORA

351

Granice mjerljivosti za pojedine metode mjerenja

Thomsonov most: 10^{-9} do 100 oma

U — I metoda: 10^{-6} do 10^6 oma

Metoda kompenzacije: 10^{-6} do 10^6 oma

Wheatstoneov* most: 10^{-3} do 10^6 oma

Omometar: 1 do 10^6 oma

Induktor s ručicom: 1 do 10^9 oma

Megomometar: 1 do 10^{13} oma

Cijevni omometar: 10^6 do 10^{15} oma

Izbijanje kondenzatora: 10^6 do 10^{15} oma.

352

Upute za rukovanje mjernim instrumentima

1. Prenosne i *laboratorijske instrumente* treba čuvati na suhom i čistom mjestu. Pogonske instrumente treba montirati, gdje je god to moguće, također na suhom i čistom mjestu. Gdje to nije moguće, treba paziti na izbor odgovarajućih mjernih instrumenata.

2. Prije nego upotrijebiš mjerni instrument, pročitaj *uputu za rad s njim.*

3. S instrumentima treba pažljivo rukovati. Udarcima se mogu *oštetiti ležajevi, a to dovodi do povećanja* trenja u njima pa stoga i do povećanja greške instrumenta.

4. Klasa instrumenta neka odgovara vrsti mjerenja. Šteta je upotrijebiti precizni instrument za gruba mjerenja. Za precizna mjerenja valja upotrijebiti instrumente dovoljne tačnosti.

* Wheatstone — čitaj Uictn.

5. Mjerno područje instrumenta treba, po mogućnosti, tako odabrati da mjerna vrijednost dolazi na zadnju trećinu skale kako bi greška mjerenja bila što manja. *Za sve instrumente osim za kvocijentne (logometre)*, frekvencmetre s jezičcima, omometre i instrumente s logaritamskom ili hiperboličnom podjelom greške se izražavaju u postocima maksimalne vrijednosti mjernog opsega. To znači da instrument klase, na primjer, 0,5 pokazuje sa tačnošću ±0,5% samo na kraju skale, u sredini skale njegova greška je dva puta veća (±1%), a na kraju prve desetine skale greška je čak 10 puta veća (±5%). Slično vrijedi za dodatne greške zbog raznih utjecaja (temperatura, položaj, strana polja i sl.).

6. Svaki instrument je baždaren u nekom položaju koji je na njemu označen i kojega se treba, po mogućnosti, pridržavati kod mjerenja jer su tada rezultati najtačniji. (Inače dolazi do dodatne greške.)

7. Treba paziti na utjecaj stranih magnetskih polja. Najmanje su osjetljivi astatički instrumenti (koji su zaštićeni protiv homogenih magnetskih polja), instrumenti s magnetskim štitom te ferodinamički instrumenti. Naročito su osjetljivi instrumenti s pokretnim željezom. No ni instrumenti s pokretnim svitkom ne smiju se nalaziti u blizini vodiča koji vode jake istosmjerne struje. Šant treba da je uvijek dovoljno daleko od instrumenta, to dalje što je struja kroza nj jača. Instrument neka za vrijeme mjerenja ne stoji na *željeznoj* podlozi, a po mogućnosti niti u blizini velikih željeznih predmeta.

8. Prije mjerenja treba provjeriti da li je kazaljka na nuli; ako nije, treba je podesiti pomoću podešavača.

9. Ako instrument ima nekoliko mjernih područja, treba mjerenje započeti na najvećem mjernom području pa tada prelaziti na manja sve dotle dok se rezultat ne očita što bliže kraju skale.

10. Ako se upotrijebi posebni šant, treba ga priključiti pomoću priključnih vodova koji su s njim baždareni ili pomoću vodova jednakog otpora. Inače može doći do znatne dodatne greške.

11. Kazaljka instrumenta može se pomaknuti iz nultog položaja ako se staklo instrumenta obriše krpom jer se time stvaraju elektrostatski naboji. Stoga nakon brisanja stakla krpom treba u nj huknuti čime se uklanja naboj i kazaljka vraća u nulti položaj. Na ovo treba naročito paziti ako instrument nema podešavača nule (npr. fazometri) ili ima slabi zakretni moment (npr. elektrostatski instrumenti).

12. Ako je mjerni sistem instrumenta zavješen (npr. galvanometri, neki elektrostatski instrumenti), takav instrument ima napravu za aretiranje pa ga treba aretirati prije nego ga prenesemo na drugo mjesto, pa i ako ga samo pomaknemo na istom stolu. Ako instrument ima i razulju, treba ga vijcima podesiti u horizontalan položaj.

13. Tačnost mjerenja možemo nešto povećati ako instrument prije očitavanja lako udarimo prstom. Time izbjegavamo utjecaj trenja u ležajevima.

14. Instrumente treba baždariti pri 20° C ili vrlo blizu te temperature. Oni moraju biti dovoljno dugo u prostoriji te temperature da poprime njezinu temperaturu.

15. Treba paziti na termonapone koji mogu iskriviti rezultat ako se mjeri osjetljivim instrumentom s pokretnim svitkom. Termonaponi mogu nastati ako je priključna stezaljka od jednog materijala, a priključni vodič od drugog (osobito ako je od željeza) te ako je stezaljka ugrijana rukom.

353 Zaštita električnih postrojenja

Kratice: i - isklapa sklopku, r - razbuđuje generator, s - djeluje na signalizaciju.

1. Nadzemni vodovi i kabeli

a) Osigurači protiv kratkog spoja za vodove do 10 kV.

b) Nadstrujni releji (i + s) protiv preopterećenja i kratkog spoja. Relejna kombinacija »Iskra« RI 2 odn. RI 2p* sastoji se od 2 nadstrujna releja IR 2 (s nezavisnom karakteristikom), vremenskog releja CRm 11 i zasićenog transformatora, a kombinacija RI 3, odn. RI 3p od 3 IR 2 + CRm 11 + zasićeni transformator. Za mreže s kruto uzemljenim zvjezdištem upotrebljava se relejna kombinacija RI 21 koja se sastoji opet od 3 releja IR 2, jednog vremenskog releja CRm 11, 2 signalna releja i zasićenog transformatora. Pri tome 2 releja IR 2 rade kao nadstrujni releji, a jedan radi kao zemljospojni relej. Relejne kombinacije RI 4, RI 4p i RI 6 sastoje se od po dvije grupe releja od kojih jedna grupa, podešena na manju struju, djeluje preko vremenskog releja CRm 11 (tj. sa zatezanjem), a druga grupa, podešena na veću struju (4 do 5 puta veću), djeluje trenutno. Prva grupa štiti prema tome od preopterećenja, a druga od kratkih spojeva.

c) Nadstrujni usmjerni (vatmetrički) releji) (i + s), protiv kratkog spoja u zatvorenim (zamkastim) mrežama. Relejna kombinacija »Iskra« RIS 1a s usmjernim relejem SR 1. Uglavnom za vodove do 35 kV.

d) Distantna zaštita (i + s) protiv kratkog spoja u mrežama 110 i 220 kV (redovno s podimpedantnom uzbudom), izuzetno u mrežama 35 kV (obično s nadstrujnom uzbudom). U nas se još ne proizvode distantni releji. Dolaze u obzir uglavnom ovi releji: AEG: SD 14a za mreže 35 kV** s izoliranom ili elastično uzemljenom nultačkom (»gašene mreže«) i SD 14a E za mreže 35 kV** s kruto uzemljenom nultačkom, SD 124 + Z 13 (Z 13 - podimpendantna uzbuda) za mreže 110 i 220 kV s mogućnošću 1-pol. i 3-pol. ponovnog uklapanja, SD 324 3-sistemski, 1-periodni (podimpendantna uzbuda uključena) za mreže 220 i više kV. — BBC: LG1 za nadzemne vodove i LG2 za kabele, 2-polna izvedba za mreže 35 kV** (LG1w i LG2w za 3-polno ponovno uklapanje), LH1 i LH1w 3-polna izvedba za mreže 110 i 220 kV, L4S za kabele 110 i 220 kV, L6c + L3wyaS 3-sistemski, 1-periodni za mreže 220 i više kV. — CdC (Compteurs): RY 200 (admitantni releji) za mreže 35 i 110 kV, RXAP 6000 (reaktantni releji) za mreže 110 i više kV. — SSW (Siemens): R1KZ4a 2-polna izvedba za nadzemne vodove i kabele 35 kV**, R1Z23a + R3Z2 (R3Z2 - podimp. uzbuda) za 110 i 220 kV i 1-pol. i 3-pol. pon. uklapanje.

e) Zemljospojni releji za pokazivanje zemljospoja (s): naponski releji između zvjezdišta i zemlje, npr. »Iskra« UR 2/tip z.

f) Zemljospojne relejne kombinacije za pokazivanje faze u zemljospoju (s), npr. »Iskra« RZ 1.

g) Zemljospojne relejne kombinacije za pokazivanje dijela postrojenja koji ima zemljospoj (s), npr. »Iskra« RS 2b.

h) Releji za automatsko brzo ponovno uklapanje, npr. »Iskra« RU 55. Podešavanje pauze bez napona 0,1 do 2 sek., a vrijeme blokiranja do 5 sek.

i) Releji za automatsko sporo ponovno uklapanje, npr. »Iskra« RU 56. Podešavanje pauze bez napona 0,4 do 4 min.

---

* Oznaka p znači da je unutarnji, zasićeni strujni transformator prespojiv tako da se dade zahvatiti veće mjerno područje. Tako se RI 2 i RI 3 mogu podesiti između 4,5 i 9 A (odn. 0,9 i 1,8 A), a RI 2p i RI 3p između 4,5 i 18 A (0,9 i 3,6 A).

** Mogu doći u obzir i za vodove 110 kV.

2. Transformatori

a) Osigurači za zaštitu od kratkog spoja i spoja među svicima (ne protiv preopterećenja). Za transformatore do 250 kVA, izuzetno do 630 kVA.

b) Nadstrujni releji (i + s) protiv preopterećenja i vanjskih kratkih spojeva. Relejne kombinacije RI 2, RI 2p »Iskra« RI 3, RI 3p, RI 4, RI 4p i RI 6 (vidi pod 1b).

c) Termički releji protiv pregrijanja. Vremenska konstanta releja mora odgovarati vremenskoj konstanti transformatora. »Iskra« proizvodi releje RIB 10a s vremenskom konstantom 20, 30, 40, 60 i 80 min. U nas se mnogo upotrebljavaju i releji BBC tip HT (primarni) i ST (sekundarni).

d) Buchholzovi releji za zaštitu od unutarnjih kvarova u transformatoru. Proizvodnja »Rade Končar«. Redovno se prigrađuju transformatorima od 400 kVA naviše, na zahtjev i transformatorima 250 kVA. Buchholzovi releji sa 2 plovka: 1. plovak s, 2. plovak i + s.

e) Kontaktni termometri (s ili i + s): Kod određene (udesive) temperature zatvaraju signalni strujni krug. Uglavnom za transformatore iznad 1000 kVA. Često ima 2 kontakta: Prvi za s, drugi za i + s.

f) Diferencijalna zaštita (i + s) za međuzavojni spoj, spoj među svicima i ostale kvarove između grupa strujnih transformatora s jedne i druge strane energetskog transformatora. Relejna kombinacija »Iskra« sastoji se od dva trofazna stabilizirana diferencijalna releja od kojih je prvi udešen za razmjerno veliku struju (1 do $2I_n$) i isklapa momentalno, a drugi na razmjerno malu struju (0,2 do $0{,}4I_n$) i isklapa s usporenjem (preko vremenskog releja koji nije sastavni dio ove relejne kombinacije).

g) Javljalo uljostaja (s) javlja da je uljostaj spao na donju dopustivu granicu.

3. Generatori

a) Nadstrujni releji (i + s, eventualno + r), — kao 2b.

b) Termički releji (s, eventualno i) protiv pregrijanja.

c) Zaštita od nesimetričnog opterećenja (i + s) upotrebljava se obično samo za velike generatore (iznad 12 MVA).

d) Povratni releji (i + s) isklapaju generator ako bi on počeo raditi kao motor (ako se prekine dovođenje energije turbini). Upotrebljava se relejna kombinacija »Iskra« s usmjernim (vatmetričkim) relejem.

e) Diferencijalna zaštita (i + r + s) štiti generator (i transformator ako je u bloku) protiv spoja među svicima i dvostrukog zemljospoja. Relejna kombinacija »Iskra« RD 3a.

f) Zemljospojna zaštita statora za generator u blok-spoju (i + r + s). Relejna kombinacija »Iskra« RS 12a koja pokazuje i u kojoj je fazi zemljospoj, a sastoji se od 3 vatmetrička releja na indukcionom principu, 3 pomoćna releja i ispitnog transformatora.

g) Zemljospojna zaštita statora za generator na sabirnicama paralelno s drugim generatorima (i + r + s). Relejna kombinacija »Iskra« RS 11a.

h) Zemljospojna zaštita rotora (s). Relejna kombinacija »Iskra« RE 2a.

i) Prenaponska zaštita (i + r + s). Relejna kombinacija »Iskra« RU 3a sastoji se od 2 prenaponska releja od kojih prvi isklapa trenutno, a drugi sa zatezanjem (tj. preko vremenskog releja).

j) Frekventna zaštita generatora od pobjega turbine (i + r + s) isklapa generator kad frekvencija prekomjerno poraste. Relejna kombinacija »Iskra« RF 1a.

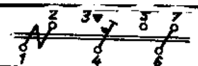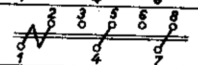
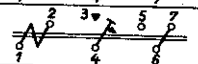
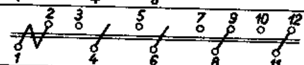
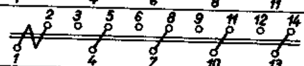
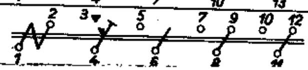
354 Signalni i pomoćni releji »Iskra«

a) Releji za zaštitne i signalno-sigurnosne uređaje

Ovi releji služe za posredovanje, umnožavanje ili pojačavanje signala drugih releja. Trenutnim kontaktom aktiviraju relej za akustični signal (PRc 1 ili PRcu 1). Signalni releji imaju signalne značke. Kad se uzbude, javi se u prozorčiću releja crvena značka. Nakon prestanka uzbude nestane crvena, a javi se bijela značka koja nestane pritiskom na dugme pa se u prozorčiću releja pojavi crno polje.

Ovi releji mogu biti u kućištu (tip PR, zaštita P 43*) ili bez kućišta (tip PRg, zaštita P 00).

Releji u kućištu jesu:

Tip pomoćnog releja	Položaj kontakta u stanju bez uzbude	Kontakti t	Kontakti s	Kontakti u	Kontakti p	Tip signalnog releja
PR 103a		1	—	—	1	PRs 103
PR 104a		—	—	—	2	PRs 104
PR 105a		—	1	—	1	PRs 105
PR 205		—	—	2	2	
PR 206		—	—	—	4	
PR 207		1	—	1	2	

Releji bez kućišta jednaki su kao gornji no mogu imati i veći broj kontakata:

Kontakti	PRg 103	PRg 104	PRg 105	PRg 120	PRg 121	PRg 125	PRg 130	PRg 131	PRg 132	PRg 142
t	1	—	—	—	—	1	—	—	—	—
s	—	—	1	—	—	—	—	—	—	—
m	—	—	—	—	—	—	—	—	6	8
p	1	2	1	4	—	3	6	—	—	—
r	—	—	—	—	4	—	—	6	—	—

Vrst kontakata. t - trenutni, impuls kad dođe do uzbude; s - trenutni, impuls kad izostane uzbuda; u - uklopni (radni); m - isklopni (mirni); p - preklopni; r - preklopni, ali se vanjski kontakti pri preklapanju kratkotrajno spajaju (preklop bez prekida).

Uzbuda. a) Izvedba za istosmjernu struju: 24 V — 2,1 W, 110 V — 2,8 W, 220 V — 5,5 W. b) Izvedba za izmjeničnu struju: 24, 110 ili 220 V, 50 Hz, 7 VA pri uklapanju, 4 VA pošto je kotva privučena.

* Vidi 52, str. 120.

Opterećenje kontakata. Dozvoljeni napon 500 V/250 V; trajna dozvoljena struja 5 A; snaga kontakata: za izmjeničnu struju 1000 VA/100 VA, za istosmiernu struju, uklapanje 1000 W/100 W, isklapanje, omsko opterećenje 100 W/20 W, induktivno opterećenje 50 W/10 W. Prvi broj se odnosi na trajni, drugi na trenutni kontakt.

b) Releji za potrebe industrijske automacije i tehnike upravljanja

Malih su mjera, ugrađeni u četvrtasto vodotijesno kućište od prozirnog polistirola, montirani na 8-polni odn. 11-polni utikač. Neispravni relej mijenja se tako da se izvuče iz utičnice te se umetne drugi, ispravni relej. Priključci se nalemljuju na utičnicu.

		Tip releja						
		PR 51	PR 52	PR 53	PR 55	PR 56	PR 57	PR 58
Kontakti	u	—	—	—	3	—	2	1
	m	—	—	—	—	3	1	2
	p	1	2	3	—	—	—	—
Broj polova utikača		8	8	11	8	8	8	8

Uzbuda: a) Izvedba za istosmjernu struju: nazivni napon 6, 12, 24, 48, 60, 110 i 220 V, potrošak oko 1,8 W do 110 V, oko 3,6 W za 220 V. — b) Izvedba za izmjeničnu struju: nazivni naponi 6, 12, 24, 60, 110, 220 i 380 V, potrošak oko 3 VA pri uklapanju, 2 VA pošto je kotva privučena.

c) Releji za FU-zaštitu od opasnog dodirnog napona

Ovi releji djeluju u zajednici s pripadnom automatskom sklopkom ili sklopnikom te predstavljaju mjerni element koji prekine uzbudu podnaponskog okidača automatske sklopke ili uzbudu sklopnika kad napon na kućištu zaštićene naprave prekorači dozvoljenu vrijednost. (Vidi zaštitu od opasnog dodirnog napona u 333/9, str. 569). Normalno se upotrebljava relej PRhr 1, a relej PRhr 2 služi za zaštitu galvanskih kupki i sl. jer je spriječena uzbuda istosmjernom strujom, pomoću kondenzatora u seriji s uzbudnim svitkom.

d) Specijalni releji

Releji PRc 1 i PRcu 1 su specijalni pomoćni releji koji djeluju na vrlo kratke impulse (npr. na trenutni, impulsni kontakt releja PR 103a ili PR 105a). Uključuju signale upozorenja i sl. u zaštitnoj signalnoj tehnici.

Releji PRz 1 i PRz 2 posreduju i pojačavaju telefonski pozivni signal. Preko kontakta releja priključi se optički ili akustični signal koji upozorava na telefonski poziv. Pri tome relej PRz 1 uklapa signal u ritmu pozivnog signala, a relej PRz 2 uklapa signal trajno na prvi impuls pozivnog signala te se isklapa pomoću tipke.

Releji ULR 2 i ULRm 1 su releji za treptavo svjetlo. Frekvencija treptavog svjetla može se mijenjati između 45 i 90 (ULR 2) odn. 20 i 90 (ULRm 1) treptaja u minuti.

355

Potrebni mjerni instrumenti za komandne ploče

	Struja				Napon				Djelatna snaga				Jalova snaga			Faktor snage		Frekvencija	Sinhronizacija			Brojilo energije
	A	A	A	RA	V	ZV	ZV	ZV	W	RW	W ↔	RW ↔	jW	jW ↔	RjW ↔	φ	φ ↔	F	S	VV	FF	Wh
Pojedinačni pogon																						
mali generator	●	○	○		●				●	○			○					●				●
njegova uzbuda	●				○																	
Paralelni pogon																						
veliki generator	●	●	●		○				●	●			●			○		○	●	●	●	●
njegova uzbuda	●				●																	
pomoćna uzbuda	●				●																	
Spoj sabirnica																						
poprečni	●																					
uzdužni preko prigušnice . .	●										●			●								
Spoj mreža preko transformatora																						
transformator	●				○						○			○					○	○	○	○
zemljospojno gasilo				●																		
Mjerno polje za sabirnice					○	●	●	●										○				
Odvojak: smjer energije → .	●								○													○
smjer energije ⟷	●				●						●	○		●	○							○
Usmjerivač: trofazna strana . .	●															○						
istosmjerna strana	●				●																	
Indukcioni motor	●								○													
Sinhroni motor	●				●				○					●			●					
njegova uzbuda	●				○																	
Kondenzatorska baterija	●	○	○																			

Oznake: ● svakako potrebno, ○ eventualno potrebno; RA, RW, RjW - registracioni instrumenti, ZV - voltmetar za zemljospoj, S - sinhronoskop; strelica pokazuje, da je otklon u dva smjera.

Prema AEG Hilfsbuch, 7. izdanje (1956.), str. 145.

Kontrola izolacije

1. Propis

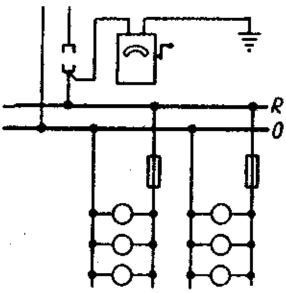
Izolacija je u redu ako struja kroz izolaciju na dijelu instalacije između 2 osigurača ili iza zadnjeg osigurača ne prekoračuje 1 mA (miliamper) kod pogonskog napona. Odavle proizlaze ove vrijednosti za otpor izolacije:

2. Otpor izolacije

Pogonski napon prema zemlji	Potreban otpor između dva osigurača ili iza zadnjeg osigurača
V	MΩ (megoma)
110	0,11
220	0,22
380	0,38
500	0,5

3. Mjerenje izolacije

a) U jednofaznim postrojenjima



1. Mjeri se otpor cijele instalacije prema zemlji po shemi na susjednoj slici: sve sklopke uklopljene, sva trošila izvađena. Ako je otpor veći od onoga koji je naveden u tablici pod 2, izolacija instalacije je u redu i nisu potrebna daljnja mjerenja izolacije.

2. Ako je otpor manji, ne znači da izolacija nije u redu. Sada treba na jednak način izmjeriti otpor prema zemlji svakog pojedinog strujnog kruga, tj. otpor iza pojedinog osigurača. Ako su ti otpori veći od navedenog, izolacija je ipak u redu.

b) U trofaznim postrojenjima

1. Mjeri se otpor cijele instalacije prema zemlji slično kao na gornjoj slici.

2. Ako je otpor prema zemlji manji nego u tablici pod 2, izmjeri se otpor prema zemlji svakog odvojka posebno.

3. Izmjeri se otpor između pojedinih faznih vodiča tako da se jedan pol induktora priključi na jedan vodič, a drugi pol na drugi vodič. Ako je u cijeloj instalaciji otpor između pojedinih faznih vodiča manji od navedenog u tablici pod 2, treba izmjeriti otpor između tih vodiča u pojedinim odvojcima.

Ako je otpor prema zemlji ili otpor između pojedinih faznih vodiča u nekom odvojku manji od navedenog u tablici pod 2, izolacija tog odvojka nije ispravna. Dijeljenjem tog odvojka u pojedine odsječke i mjerenjem izolacije tih odsječaka treba ustanoviti gdje je slabo mjesto izolacije i ukloniti ga. Po potrebi treba izmijeniti dotrajale izolirane vodiče.

ELEKTRIČNA RASVJETA

Veličine, jedinice i pojmovi rasvjetne tehnike*

1. S v j e t l o s n i t o k je onaj dio isijavane snage koji se osjeća kao svjetlost. Određuje se fotometrički. Jedinica je lumen (lm). 1 lm je svjetlosni tok što ga u jedinični prostorni kut isijava tačkasti izvor svjetla koji u svim smjerovima jednoliko isijava svjetlo jakosti 1 kandela.

2. K o l i č i n a s v j e t l o s t i je umnožak jednolikog svjetlosnog toka i vremena kroz koje je isijavan. Jedinica je lumen-sekunda (lm • s).

3. S v j e t l o s n a j a k o s t je gustoća svjetlosnog toka, tj. svjetlosna jakost nekog tačkastog izvora svjetla je omjer između svjetlosnog toka isijavanog u neki prostorni kut i tog prostornog kuta. Jedinica je kandela (cd). Kandela je šezdeseti dio svjetlosne jakosti koju odašilje u okomitom smjeru crno tijelo na temperaturi skrućivanja platine.

4. O s v i j e t l j e n o s t (jakost rasvjete) gustoća je svjetlosnog toka na nekoj plohi, tj. omjer između svjetlosnog toka koji pada na neku plohu i površine te plohe[1]). Jedinica je luks (lx). 1 lx = 1 lm/m^2, tj. luks je osvijetljenost 1 m^2 plohe jednoliko osvijetljene svjetlosnim tokom 1 lm.

5. L u m i n a n c i j a (blijesak, sjajnost, sjaj) je naziv za vizuelni osjećaj prema kojemu neka površina izgleda da odaje više ili manje svjetlosti. Luminancija je omjer između svjetlosne jakosti izvora svjetla u nekom smjeru i prividne veličine površine tog izvora u tom smjeru. Jedinice su nit (nt) i stilb (sb). 1 nt=1 cd/m^2; 1 sb=10^4 nt. Luminanciju od 1 nt ima izvor svjetla koji isijava u nekom smjeru svjetlo jakosti 1 cd, a površina tog izvora okomito na promatrani smjer isijavanja iznosi 1 m^2.

6. S v j e t l o s n o i s k o r i š ć e n j e nekog izvora svjetla je omjer između ukupnog svjetlosnog toka izraženog u lumenima koji taj izvor daje i električne snage izražene u vatima koju on uzima. Jedinica je prema tome lumen/vat (lm/W).

7. F a k t o r u p i j a n j a (apsorpcije) nekog tijela je omjer između onog dijela svjetlosnog toka koji to tijelo upija (apsorbira) i toka koji na nj pada.

8. F a k t o r o d b i j a n j a (refleksije) nekog tijela je omjer između onog dijela svjetlosnog toka koji se odbija (reflektira) od tog tijela i toka koji na nj pada.

9. F a k t o r p r o p u š t a n j a (transmisije) nekog tijela je omjer između onog dijela svjetlosnog toka koji to tijelo propušta (transmitira) i toka koji na nj pada. Faktor upijanja + faktor odbijanja + faktor propuštanja = 1 (ili 100%).

10. T e m p e r a t u r a b o j e nekog izvora svjetlosti je temperatura crnog tijela pri kojoj ono isijava svjetlo jednake boje kao i odnosni izvor svjetlosti.

11. K o l e b a n j e svjetlosti je osjetna promjena jakosti ili valne frekvencije izvora svjetlosti.

12. S t r o b o s k o p s k i e f e k t je pojava izazvana kolebanjem izvora svjetlosti. To je prividno kretanje nekog predmeta koje se razlikuje od njegova stvarnog kretanja ili prividno zaustavljanje kretanja nekog predmeta.

13. T r e p e r e n j e je dojam kolebanja jasnoće ili boje koji nastaje kad frekvencija promatrane promjene leži između frekvencije od nekoliko herca i frekvencije pri kojoj se slika slijeva.

14. S j e n o v i t o s t je dana omjerom $(E_o - E_s)/E_o$, gdje je E_o osvijetljenost neke tačke bez zastiranja, a E_s osvijetljenost te tačke sa zastiranjem.

15. K o n t r a s t je subjektivni osjećaj razlike luminancije dvaju područja vidnog polja viđenih istovremeno ili jedno za drugim. Kontrast luminancije vidnog zadatka je omjer $(B_1 - B_2)/B_1$ ili $(B_2 - B_1)/B_1$, gdje je B_2 luminancija predmeta, a B_1 luminancija njegove pozadine.

16. J e d n o l i k o s t (r a v n o m j e r n o s t) r a s v j e t e neke ravnine je (prema JUS U.C9.100/1963) omjer osvijetljenosti najslabije osvijetljenog mjesta i prosječne osvijetljenosti te ravnine. U literaturi se kadšto navodi kao omjer osvijetljenosti najslabije i najjače osvijetljenog mjesta.

---

* Vidi i 18 strana 53 i 54; 19, strana 59; 34a i 34b, strana 70.

[1]) Ova definicija vrijedi uz uvjet da je ploha jednoliko osvijetljena.

17. Korisnost svjetiljke je omjer svjetlosnog toka koji isijava neka svjetiljka i svjetlosnog toka svih sijalica u toj svjetiljci.

18. Korisnost prostorije je omjer svjetlosnog toka koji pada na mjernu plohu* neke prostorije i svjetlosnog toka svih svjetiljaka koje svijetle u toj prostoriji.

19. Korisnost rasvjete je omjer svjetlosnog toka koji pada na mjernu plohu* neke prostorije i svjetlosnog toka svih sijalica koje svijetle u toj prostoriji. Korisnost rasvjete = korisnost svjetiljaka × korisnost prostorije.

20. Faktor održavanja (koeficijent pogoršanja) rasvjete je omjer osvijetljenosti neke plohe (prostorije) nakon izvjesnog vremena i početne osvijetljenosti te plohe. Ovaj faktor vodi računa o slabljenju svjetlosnog toka svjetlosnog izvora i o zaprašivanju i prljanju svjetiljaka. Razlikujemo faktor održavanja (koeficijent pogoršanja) koji vodi računa o minimalnoj osvijetljenosti i onaj koji vodi računa o srednjoj osvijetljenosti. Obično se računa s minimalnim faktorom održavanja.

21. Mjerna ploha je horizontalna ploha koja je u prostorijama 0,85 m iznad poda (prema JUS), a na slobodnom 0,20 m iznad ulice.

358 Karakteristike raznih izvora svjetlosti

Izvori svjetlosti**	Temperatura boje	Korisnost svjetlosnog izvora	Luminancija (sjajnost) (približno)
	°C	lm/W	sb
Žarulje s volframovom niti, vakuumske, prozirne, 40 W, 220 V	2220	8 — 10	250
Žarulje s volframovom niti, plinom punjene, prozirne, 100 W, 220 V	2470	11,5 — 13	550
Isto, ali iznutra matirane	2470	11,5 — 13	oko 20
Isto, ali s opalnim staklom	2470	10,5 — 12	2
Žarulje s volframovom niti, plinom punjene, prozirne, 1000 W, 220 V	2750	17 — 19	1500
Žarulje s tantalovom niti, prozirne	1970	7	85
Žarulje s ugljenom niti, prozirne	1850	oko 3	60
Fluorescentne cijevi	3000—6500	25 — 50	0,35 — 0,65
Živine sijalice srednjeg tlaka prozirne		36 — 42	150 — 190
Visokotlačne živine sijalice iznutra matirane		32 — 45	oko 40
Fluorescentne visokotl. živine sijalice		27 — 45	4 — 10
Natrijeve sijalice		40 — 65	10 — 12
Sijalice za miješano svjetlo, iznutra matirane		16 — 20	oko 50
Tinjalice		0,4 — 1	oko 0,03
Lučnice (lučne sijalice)		20 — 30	2000 — 10000
Plinske svjetiljke	2000	1,5	5 — 30
Petrolejke	1575	0,3	1,0 — 1,5
Acetilenke	2130	0,75	7
Stearinske svijeće	1430	10	0,75
Mjesec	—	—	0,25 — 0,5
Vedro nebo	—	—	0,4 — 0,5
Sunce 30° iznad horizonta	5200	—	oko 75 000
Sunce u zenitu	5200	—	do 225 000
Električni luk	—	—	do 80 000

* Obično se uzima da je mjerna ploha neke prostorije jednaka površini njezinog poda, ali uzdignutoj 0,85 m iznad poda.

** Vidi prvu fusnotu na slijedećoj strani.

359 Žarulje*

a) Osnovni podaci žarulja

prema jugoslavenskom standardu JUS N.L1.003/1955[1])

Nazivna snaga žarulja W	Mjere žarulja: najveća visina mm	najveći promjer balona mm	Podnožje: Edison	bajonet	Nazivni svjetlosni tok novih žarulja[2]) u lumenima: normalnih 110 V	normalnih 220 V	s povećanim η 110 V	s povećanim η 220 V
10[3])	106	56	E 27	B 22			—	—
15[3])	106	56	E 27	B 22	130	120	—	—
25	113,5	61	E 27	B 22	225	205	—	—
40	113,5	61	E 27	B 22	435	325	480	400
60	121	66	E 27	B 22	755	580	800	685
75	128,5	71	E 27	B 22	995	785	1060	910
100	141	76	E 27	B 22	1400	1160	1520	1310
150	164,5	81	E 27	B 22	2270	1980	—	—
200	183,5	91	E 27	—	3180	2740	—	—
300	240	111,5	E 40	—	Nije standardiziran			
500	275	131,5	E 40	—				
1000	309	151,5	E 40	—				
1500	344	171,5	E 40	—				

Snaga koju uzima iz mreže nova žarulja ne smije biti veća od 104% nazivne snage + 0,5 W. Broj odbačenih žarulja iz jedne ispitivane partije koje ne zadovoljavaju ovaj uvjet ne smije prijeći 10%[4]) + 2 žarulje.

Najmanja prosječna trajnost žarulja treba da iznosi 1000 sati svijetljenja. Pojedina žarulja treba da traje barem 700 sati. Svjetlosno iskorišćenje (omjer lumeni/vati) žarulja nakon 750 sati svijetljenja ne treba da je manji od 85% od početne vrijednosti, izuzev žarulja od 25 W, 200 do 250 V, za koje svjetlosno iskorišćenje ne treba da je manje od 82% početne vrijednosti i žarulja od 25 W, 100 do 150 V, za koje ono ne treba da je manje od 78%. Broj odbačenih žarulja iz jedne ispitivane partije koje ne zadovoljavaju gornje uvjete ne smije prijeći 10%[4]) + 2 žarulje.

Jugoslavenske tvornice IPR[5]) Zagreb i »Tesla« Pančevo proizvode žarulje od 40 do 100 W i u matiranoj i opalnoj izvedbi, a žarulje od 40 do 200 W i u plavkastoj izvedbi kao žarulje za dnevno svjetlo. Nadalje se proizvode i obojene žarulje (crvene, modre, zelene, žute), uglavnom veličine 25 W.

---

* U ovom priručniku svi električki izvori svjetlosti sa rasvjetnom svrhom nazvani su općim imenom *sijalice*. Specijalno, *sijalice s usijanom niti nazvane* su žaruljama. Gornji podaci odnose se na žarulje s volframovom niti za opću upotrebu.

[1]) Ovaj jugosl. standard je u skladu sa publikacijom IEC-a br. 64/1952 »Međunarodne specifikacije za volframove žarulje za opću upotrebu«.

[2]) Za žarulje do 150 W s balonom bistrim ili iznutra matiranim, za žarulje od 300 W naviše samo sa bistrim balonom.

[3]) Žarulje od 10 i 15 W nisu obuhvaćene jugosl. standardom. Podaci za te žarulje dobiveni su od tvornice IPR[5]) Zagreb.

[4]) Ako rezultat nije cijeli broj, treba ga zaokružiti na prvi veći broj.

[5]) IPR, Industrija proizvoda za rasvjetu — ranije »TEŽ-Croatia«.

b) Svjetlosni tok novih žarulja iznad 200 W prema tvorničkim podacima

Nazivna snaga žarulja	Jednostruko spiralizirane žarulje IPR*		Dvostruko spiralizirane žarulje (Philips)	
W	110 V lm	220 V lm	110 V lm	220 V lm
150	2 270	1 930	2 325	2 100
200	3 180	2 740	3 250	2 950
300	4 800	4 250	5 100	4 850
500	8 500	7 500	9 250	8 450
1000	18 500	17 000	21 000	19 000
1500	30 000	27 500	31 000	30 500

c) Svjetlosno iskorišćenje novih žarulja za 220 V i 1000 h svijetljenja

Nazivna snaga	Svjetlosno iskorišć. novih žarulja normalnih	Svjetlosno iskorišć. novih žarulja s povećanim η	Nazivna snaga	Svjetlosno iskorišć. novih žarulja normalnih	Svjetlosno iskorišć. novih žarulja s povećanim η
W	lm/W	lm/W	W	lm/W	lm/W
15	8	—	150	13,2	14,0
25	8,2	—	200	13,7	14,7
40	8,3	10,0	300	14,2	16,2
60	9,7	11,4	500	15,0	16,9
75	10,5	12,1	1000	17,0	19,0
100	11,6	13,1	1500	18,3	20,4

Iznutra matirane žarulje daju oko 1,5% manji svjetlosni tok nego bistre žarulje, izvana matirane žarulje 3 do 4% manji, a opalne žarulje 6 do 12% manji svjetlosni tok.

d) Promjene karakteristika žarulja kod preniskog i previsokog napona

U	Φ	P	η	T	U	Φ	P	η	T
%	%	%	%	h	%	%	%	%	h
90	71	84,5	84,5	4370	100	100	100	100	1000
91	74	86	85,75	3750	101	103,5	101	101,5	870
92	77,5	88,5	88,25	3210	102	107,5	103	104,5	758
93	79,5	89,5	89	2760	103	110	105	107,5	661
94	82	91	90,5	2380	104	114,5	107,5	109	578
95	86	92,5	92	2050	105	118,5	108,5	111	505
96	88,5	94,5	94	1770	106	121	109,5	113,5	442
97	91,5	97	96,75	1530	107	125	110,5	117	388
98	95,5	98,5	98,25	1330	108	129	112,5	119	311
99	98	99,25	99,25	1150	109	132	114,5	121	299
100	100	100	100	1000	110	137	117	124,5	263

U - napon u % nazivnog napona, Φ - svjetlosni tok u % svjetlosnog toka kod nazivnog napona, P - snaga u % nazivne snage, η - svjetlosno iskorišćenje svjetlosnog izvora u % svjetlosnog iskorišćenja svjetlosnog izvora kod nazivnog napona, T - trajnost žarulja u satima svijetljenja.

* IPR, »Industrija proizvoda za rasvjetu«, Zagreb — ranije »TEŽ-Croatia«.

360 a Fluorescentne cijevi

Vidi JUS N.L4.003/1956 (propisi za izradbu i dobavu) i JUS N.L4.004/1956 (mjere). Ovi standardi odgovaraju u potpunosti preporukama IEC, publikacija br. 81/1956.

a) Osnovni podaci (vrijede za napon 220 V)

Snaga (potrošak) cijevi	W	15	20	40	65
Tip cijevi		FC 15	FC 20	FC 40	FC 65
Duljina (bez zatika)	mm	437	590	1200	1500
Promjer	mm	38	38	38	38
Napon gorenja	V		58	108	
Struja sijalice	A		0,38	0,42	
Struja predgrijanja (približno)	A				
Nadomjesni otpor	Ω		190	320	
Svjetlosni tok za temperaturu boje					
6500⁰ K (danje svjetlo DS)	lm	—	850	2200	3300
4500⁰ K (bijela boja, BB)	lm	580	920	2300	3500
4500⁰ K (bijela de luxe, BBX)	lm	—	700	1800	—
3500⁰ K (toplo bijela, TB)	lm	600	950	2400	3600
3500⁰ K (toplo bijela de luxe, TBX)	lm	—	680	1750	—
3000⁰ K (topli ton, TT)	lm	—	950	2400	3600
Luminancija pri 3500⁰ K	nt		0,44	0,56	
Snaga sa stabilizatorom	W		28	49	
Svjetlosno iskorišćenje η_{max}	lm/W		34	49	
Faktor snage bez kompenzacije			0,34	0,53	
Prividna snaga bez kompenzacije	VA		83,5	92	
Jalova snaga bez kompenzacije	var		78,5	78	
Kondenzator za cos φ = 1	μF		5,1	5,0	
Struja nakon kompenzacije	A		0,13	0,22	

b) Nejednolikost svijetljenja pri 220 V, 50 Hz

		Faktor jednolikosti	Faktor treperenja
Fluorescentne cijevi s induktivnim stabilizatorom			
boja svjetla:	danje svjetlo	0,33	0,5
	bijela boja	0,51	0,33
	topli ton	0,6	0,25
Dvije fluorescentne cijevi u duo-spoju			
boja svjetla:	danje svjetlo	0,71	0,16
	bijela boja	0,79	0,12
	topli ton	0,83	0,09
Tri fluorescentne cijevi u trofaznom spoju			
boja svjetla:	danje svjetlo	0,97	0,014
	topli ton	0,99	0,006
Obična žarulja od 40 W		0,68	0,19

Faktor jednolikosti $= \frac{\Phi_{max}}{\Phi_{min}}$ Faktor treperenja $= \frac{\Phi_{max} - \Phi_{min}}{\Phi_{max} + \Phi_{min}}$

c) Odabiranje fluorescentnih cijevi

Vrst prostora odnosno prostorije	Boja fluorescentnih sijalica*					
	DS	BB	BBX	TB	TBX	TT
Ulice, trgovi, stanice, luke		O		O		
Radionice — općenito		O		O		
„ potrebno raspoznavanje boja			+			
„ rasvjeta miješana sa žaruljama				O		
„ rasvj. miješana sa danjim svijetlom	O	O				
Uredi, prostorije za rad sa strankama (banke, pošta), željezničke čekaonice		O		O		
Trg. tekstilom i obućom, cvjećarnice			+			
Trgovine mješovitom robom		O	+	O		
Mljekarnice, mesarnice				O	+	+
Trgovine povrćem i ribom		O	+			+
Skladišta						+
Restorani, kavane			+		+	+
Kuhinje				O	+	
Stambene prostorije					+	+
Školski razredi				O		
Laboratoriji		O	+	O		
Umjetničke izložbe			+			

O - jaka rasvjeta gdje nije važno raspoznavanje boja, + - dobro raspoznavanje boja.

1. Fluorescentna rasvjeta djeluje neugodno (hladno ili mračno) ako osvijetljenost (jakost rasvjete) ne odgovara boji. Da rasvjeta bude ugodna, mora osvijetljenost iznositi za TT 130 do 500 lx, za TB barem 200, za BB barem 320 lx, a za DS barem 500 lx. (Vidi i stranu 639 dolje.) — 2. Cijevi iste grupe, ali različitih proizvođača mogu se primjetno razlikovati u boji. Stoga je najbolje za jednu prostoriju uzimati cijevi od jednog proizvođača.

Cijevi koje imaju dodatnu oznaku »de luxe« odgovaraju navedenim osnovnim bojama, ali im je svijetlo dopunjeno crvenkastim tonom.

d) Ovisnost svjetlosnog toka o temperaturi okoline

Temp. okoline °C	40	30	20	10	0	—10	—20
Svjetlosni tok %	92	98	100	93	70	40	20

Gornji podaci vrijede za mirni zrak i nezaštićene cijevi[1]). Ako su cijevi na vjetru, opadanje svjetlosnog toka još je veće. Cijevi za vanjsku rasvjetu *i za rasvjetu negrijanih prostorija treba stoga uvijek zakloniti zaštitnim staklom* i stabilizator ugraditi tako, da toplinski gubici cijevi i stabilizatora povise temperaturu unutar zaštitnog stakla. Ipak se preporučuje za vanjsku rasvjetu upotrebljavati cijevi za nisku temperaturu.

e) Ovisnost snage i svjetl. toka o promjenama napona

Napon V	195	200	205	210	215	220	225	230	235	240
Snaga %	80	83	87	91	96	100	105	109	113	117
Svjetlosni tok %	90	91	93	96	98	100	103	106	108	109

Cijevi pale sigurno i kod smanjenog napona, sve do 180 V.

---

* Kratice: DS - danje svijetlo (6500° K), BB - bijela boja (4500° K), BBX - bijela boja de luxe (4500° K), TB - toplo bijela (3500° K), TBX - toplo bijela de luxe (3500° K), TT - topli ton (3000° K). U zagradi je temperatura boje (vidi stranu 610) za cijevi IPR — Industrija proizvoda za rasvjetu (ranije TEŽ-Croatia), Zagreb.

1) Svjetlosni tok pri različitoj temperaturi vrlo se razlikuje za cijevi raznih vrsti i razne proizvodnje. Prema tome gornji su podaci orijentacioni.

360 b Smetnje i kvarovi na fluorescentnim svjetiljkama*

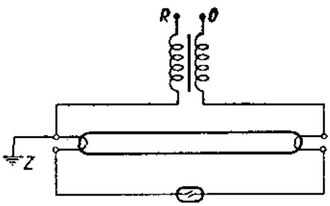
Opažanje	Mogući uzrok	Pronalaženje odn. uklanjanje smetnji
1. Cijev neće startati, elektrode hladne.		
	Strujni krug prekinut.	Pregledaj osigurače, kontakte, kako leži cijev u grlima. Po potrebi ispitaj strujni krug ispitnom žaruljom.
	Napon mreže prenizak.	Izmjeri napon[1]).
	Grijanje cijevnih elektroda pregorjelo.	Izmijeni cijev.
2. Cijev neće startati, elektrode žare.		
	Pogrešan spoj.	Ispitaj spoj uklanjanjem startera i kondenzatora za zaštitu od smetnji. Žarenje mora prestati.
	Starter defektan.	Ukloni starter, žarenje mora prestati.
	Kondenzator za zaštitu od smetnji probijen.	Ukloni kondenzator za zaštitu od smetnji, žarenje mora prestati.
3. Nova cijev trepti.		
	Stabilizator krivo dimenzioniran.	Pregledaj označnu pločicu. Izmijeni stabilizator.
	Pogrešan spoj.	Ako je grlo za starter ugrađeno u grlo cijevi, provjeri da li spoj nije pogrešan (sl. 3 na narednoj strani). Ako je duo-spoj, provjeri ispravnost polarnosti startnog namota.
	Temperatura cijevi preniska.	Drži cijev neko vrijeme u toploj prostoriji pa je tada ponovo stavi u svjetiljku. Upotrijebi cijev za niske temperature.
	Napon mreže prenizak.	Izmjeri napon[1]).
	Starter neprikladan ili defektan.	Izmijeni starter.
4. Rabljena cijev treperi ili titra (pali i gasi). Dosada je ispravno svijetlila.		
	Cijev dotrajala.	Izmijeni cijev.
	Starter defektan.	Izmijeni starter.
	Temperatura ili napon prenizak.	Vidi isto pod 3.
5. Cijev vijuga (spiralizira).		
	Cijev još nije dovoljno dugo u pogonu.	Ugasi i upali cijev nekoliko puta. Vijuganje prestane nakon nekoliko sati pogona.
	Cijev defektna.	Izmijeni cijev.
	Slab kontakt.	Preispitaj instalaciju.
	Brze i jake varijacije napona.	Preispitaj pogonske prilike.
6. Pocrnjivanje krajeva cijevi		
	Cijev dotrajala.	Izmijeni cijev.
	Cijev suviše često paljena i gašena.	Cijev treba rjeđe isklapati. Eventualno instaliraj dopunsku rasvjetu žaruljama za kratkotrajnu upotrebu.
	Starter neprikladan ili defektan.	Ispitaj starter te ga po potrebi izmijeni.
	Nedovoljno predgrijanje elektroda, prevelika pogonska struja zbog greške u spoju ili proboja kondenzatora u duo-spoju.	Pregledaj i ispravi spoj, ispitaj kondenzator, po potrebi ga izmijeni.
	Veliko variranje napona mreže.	Ispitaj pogonske prilike.
7. Pocrnjenje na dnu cijevi.		
	Kondenzat žive.	Zakreni cijev za 180° i pocrnjenje će za nekoliko sati pogona nestati.

* Spojeve fluorescentnih svjetiljaka vidi u 329e, str. 559.

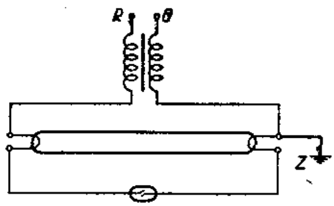
1) Vidi primjedbu ispod teksta na slijedećoj strani.

Smetnje i kvarovi na fluorescentnim svjetiljkama (nastavak)

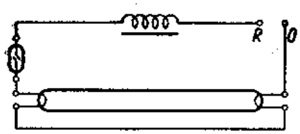
Opažanje	Mogući uzrok	Pronalaženje odn. uklanjanje smetnji
8. Tamna mjesta duž cijevi.		
	Kondenzat žive na pojedinim mjestima zbog nejednolikog hlađenja.	Povećaj razmak između cijevi i rastera.
9. Cijev starta sa znatnim zakašnjenjem (30 sek. i više).		
	Napon mreže prenizak.	Izmjeri napon[1]).
	Starter defektan ili neprikladan.	Ispitaj i eventualno izmijeni starter.
	Duo-spoj: prekompenzirana cijev starta kasnije.	Ako je takvo startanje neugodno, upotrijebi termostarter.
10. Cijevi jednog postrojenja različito svijetle.		
	Nejednaka starost sijalica.	U jednoj svjetiljci upotrijebi cijevi jednake starosti.
	Cijevi razne boje ili od raznih proizvođača.	U jednoj svjetiljci upotrijebi cijevi jednake boje i od istog proizvođača.
	Neprikladan stabilizator nekih cijevi.	Zamijeni međusobno cijevi da vidiš da li je kriva cijev ili stabilizator.



Sl. 1. Kvar izolacije (zemljospoj) ispred cijevi: Struja naraste na 10 do 20-struku vrijednost; to nije dovoljno da pregori osigurač, ali prigušnica će biti za kratko vrijeme uništena. (Pola namota prigušnice ograničuje veći porast struje; struja teče od R do Z.)



Sl. 2. Kvar izolacije (zemljospoj) iza prigušnice: Struja kroz cijev naraste za 50 do 150% prema nazivnoj jer se induktivni otpor prigušnice smanjio. Elektrode preopterećene. (Struja i ovdje teče od R do Z, ali kroz cijev, odnosno — pri paljenju — kroz starter.)



Sl. 3. Greška u spoju. Priključak za dovod zamijenjen je s vodom za starter. Cijev treperi na krajevima. Do ove greške može doći u svjetiljkama koje imaju grlo za starter ugrađeno u grlo cijevi.

---

[1]) Ako je napon trajno prenizak, treba upotrijebiti autotransformator za povišenje napona. Cijevi obično pale i svijetle još kod 180 V.

361

Živine sijalice

a) Fluorescentne živine sijalice IPR[1]) za 220 V

Oznaka živinih sijalica proizvodnje IPR[1]) je VTF, npr. VTF 250 za 250 W

Veličina sijalice		80 W	125 W	250 W	400 W	700 W	1 000W
Potrošak stabilizatora	W	10	12	18	20	32	40
Ukupni potrošak	W	90	137	268	420	732	1040
Pogonska struja	A	0,85	1,15	2,2	3,2	5,6	8,2
Faktor snage cos φ		0,5	0,55	0,55	0,57	0,58	0,58
Kondenzator za kompenzaciju*	μF	6	8	16	28	45	65
Struja uklapanja (približno)	A	1,4	1,7	3,6	5,6	9,3	11,5
Napon paljenja ± 15 V	V	145	145	135	135	135	135
Napon gorenja	V	115	125	135	140	135	135
Napon gašenja ≦	V	190	182	185	185	185	185
Vrijeme paljenja**	min	4—6	4—6	4—5	3—4	2,5—3	2,3—3
Promjer sijalice	mm	80	80	90	130	150	165
Ukupna duljina sijalice	mm	160	175	225	290	350	370
Podnožak		E 27	E 27	E 40	E 40	E 40	E 40
Težina	g	60	80	110	300	400	420
Svjetlosni tok nakon 100 sati	lm	2800	4800	11000	18500	33500	48000
Svjetlosno iskorišćenje	lm/W	31	35	41	44	46	46
Luminancija približno	sb	4	6	9	10		
Svjetlosni tok nakon 2000 sati	%	85	85	87	94	94	94
Svjetlosni tok nakon 4000 sati	%	75	75	82	90	90	—

Primjedbe: 1. Sve gore navedene sijalice jesu visokotlačne sijalice. U staklenom balonu na čijoj unutarnjoj strani je nanesen fluorescentni prah nalazi se živin žižak. Sijalice 80 W imaju kruškast balon, a sve ostale jajolik balon. Sve mogu gorjeti u bilo kojem položaju.

2. Fluorescentne živine sijalice imaju na unutarnjoj strani balona nanesen svjetlosni, fluorescentni prah koji ultravioletno zračenje pretvara uglavnom u crveno svijetlo, čime se znatno popravlja boja svijetla, smanjuje stroboskopski efekt i luminancija (sjajnost).

3. Svjetlosni tok je praktički neovisan o temperaturi okoline.

4. Kad se živine sijalice upale, potpuno se razgore tek nakon koje 3 minute. Kad se utrnu, mogu se ponovo upaliti tek nakon 3 do 5 min.

5. U seriju sa svakom sijalicom mora se spojiti stabilizator (balast, prigušnica) koji mora odgovarati za tu sijalicu. Stabilizator treba uvijek priključiti u fazni vodič jer bi uz stabilizator u nulvodiču sijalica u zemljospoju pregorjela.

6. Trajnost sijalica do 400 W je prosječno 5000 sati, a sijalica 700 i 1000 W 4000 sati uz uvjet da period neprestanog svijetljenja traje prosječno 5 sati. Ako se sijalice češće pale i gase, njihova se trajnost smanjuje.

7. Ako bi se pojavile smetnje na radio-aparatima, treba paralelno sa sijalicom spojiti kondenzator od 0,1 μF.

8. Upotreba: Rasvjeta ulica, trgova, tunela, mostova, tvorničkih hala, skladišta, dekorativna vanjska rasvjeta.

[1]) IPR — Industrija proizvoda za rasvjetu (ranije TEŽ-Croatia), Zagreb.
* Za kompenzaciju na cos φ = 0,85.
** Dok sijalica postigne 80% svojeg svjetlosnog toka.

b) Živine sijalice za miješano svjetlo

(prema podacima tvornice Osram za sijalice 225 V)

Ovim sijalicama ne treba prigušnice jer je u seriju sa živinom cjevčicom spojena žarna nit koja je, kao u običnih žarulja, ugrađena u zajednički balon kruškastog oblika. Obično su iznutra matirane.

Veličina sijalice		160 W	250 W	500 W
Pogonska struja	A	0,70	1,10	2,2
Svjetlosni tok	lm	2750	4700	11000
Svjetlosno iskorišćenje	lm/W	17	19	22
Promjer balona	mm	87	106	130
Duljina sijalice	mm	187	230	275
Podnožak		E 27	E 40	E 40

Boja svjetla nalikuje danjem svjetlu. Luminancija (sjajnost) matirane sijalice iznosi oko 50 sb. Faktor snage približno 1. Trajnost oko 3000 sati ako sijalica svijetli 3 sata po jednom paljenju. Sijalice mogu svijetliti u ma kojem položaju, a razgore se za 1 do 2 minute, a kad se ugase, ne mogu se ponovo upaliti oko 3 min. U slučaju radio-smetnji treba paralelno sa sijalicom spojiti kondenzator 0,1 mikrofarada.

Natrijeve sijalice

362

(prema podacima tvornice Osram za sijalice 220 V*

To su sijalice kojima je vanjski balon cjevastog oblika ali su za razliku od fluorescentnih cijevi kraće, deblje, prozirne i s kapom samo s jedne strane. Vanjski balon služi samo za toplinsku izolaciju, a izbijanje u natrijevoj pari, koje razvija svjetlost, događa se u unutarnjem, također prozirnom balonu (cjevčici) punjenom neonom pod niskim tlakom i izvjesnom količinom natrija.

Veličina sijalice		45 W	60 W	85 W	140 W	200 W	220W*
Struja sijalice	A	0,6	0,6	0,6	0,9	0,9	
Struja potrebna iz mreže	A	1,45	1,4	1,4	2,1	3,1	1,5
Gubici u transformatoru	W	21	21	21	23	40	25
Faktor snage		0,2	0,25	0,35	0,35		
Kondenzator za kompenzaciju	μF	20	20	20	26	40	9
Struja iz mreže nakon kompenzacije	A	0,37	0,43	0,54	0,84		
Promjer sijalice (prosječno)	mm	50	50	50	60	60	40
Duljina sijalice (najviše)	mm	257	309	424	525	785	1200
Svjetlosni tok	lm	3300	5000	8000	13000	21500	26000
Svjetlosno iskorišćenje[1])	lm/W	50	62	75	79	90	106

Daljnje karakteristike: Jednobojno žuto svjetlo, luminancija (sjajnost) 10 sb, trajnost 4000 sati svijetljenja (uz pretpostavku od 5 sati svijetljenja po paljenju). Ne mogu svijetliti u svim položajima. Sijalice od 80 do 220 W samo u horizontalnom položaju ili do 20⁰ nagnute prema horizontali, ali s kapom gore; sijalice od 45 i 60 W od horizontalnog sve do vertikalnog položaja, ali samo sa kapom gore. Nakon paljenja treba im neko vrijeme da se razgore (8 do 15 min.), ali se mogu odmah ponovo upaliti kad se utrnu (razlika prema živinim sijalicama). Svjetlosni tok do kraja života sijalice spadne na 76 do 80% početnog (tj. onog nakon 100 sati svijetljenja). Kao stabilizator služi autotransformator s velikim rasipanjem, koji u praznom hodu transformira na 470 odn. 660 V (potreban razmjerno visok napon za paljenje).

Upotreba: Za rasvjetu autoputova izvan gradova, raskršća ulica u gradovima, morskih mola, ranžirnih kolodvora, aerodroma, brodogradilišta, ljevaonica, čeličana, ispitivaonica u metalnoj industriji, kamenoloma, fasada i spomenika (dekorativna rasvjeta), nekih sportskih terena. Osobito tamo, gdje se osvjetljuje kroz maglu ili dim.

---

* Sijalica 220 W građena je za pogonski napon 380 V.

1) To je najbolje svjetlosno iskorišćenje od svih danas praktički upotrebljavanih električkih izvora svjetlosti.

363

Fototehnička svojstva materijala

a) Materijali koji propuštaju svjetlost

Materijal	Debljina mm	Faktor odbijanja ρ %	Faktor propuštanja τ %	Faktor upijanja α %
Bijelo prozorsko staklo	2—4	6—8	90—92	2—4
Bijelo staklo iznutra matirano	1,7—3,6	6—16	77—89	3—11
Mliječno staklo (nit žarulje se uopće ne vidi)		oko 50	oko 35	oko 15
Opalno staklo (nit žarulje se jedva vidi)		oko 35	oko 35	oko 10
Opalinsko staklo (nit žarulje se jasno vidi)		oko 25	oko 70	oko 5
Ornamentno staklo	3,2—5,9	7—24	57—90	3—21
Papir za sjenila		20—50	20—60	10—30
Tkanina za sjenila		35—40	15—30	30—50
Celon bijeli	1,0	oko 55	oko 17	oko 28
Celon sivi, neproziran	0,5	oko 8	oko 79	oko 13

b) Materijali nepropusni za svjetlost

Materijal	Faktor odbijanja	Materijal	Faktor odbijanja
Zrcalo stakleno sa živinim amalgamom	oko 70	Premaz bijelom ulj. bojom	80—85
Isto samo posrebreno	oko 85	„ „ bojom	75—85
Polirano srebro	oko 92	„ svijetložutom bojom	55—67
Emalj bijeli	65—75	„ smeđom bojom	27—41
Aluminij poliran	oko 66	„ svijetlozelen. bojom	43—67
Aluminij anodiziran	60—75	„ tamnozelen. bojom	10—22
Nikalj poliran	oko 55	„ svijetlomodr. bojom	31—55
Mjed polirana	oko 65	„ svijetlocrven. bojom	32—55
Mjed mutna	oko 55	„ tamnocrven. bojom	12—27
Čelik poliran	oko 50	Prirodni beton	oko 45
Bijeli lim	oko 65	Crvena opeka	oko 25
Crni metali, neobrađeni	10—20	Žuta opeka	oko 35
Papir bijeli	60—80	Koža crna	1—1,5
Kreda, sadra, kreč	oko 85	Barhet crn	0,2

364

Približne vrijednosti faktora odbijanja za strop i zidove

Bijeli strop	70%
Čisti betonski strop, svijetli drveni strop, bijeli strop u vlažnim prostorijama	50%
Betonski strop u prljavim prostorijama, drveni strop	30%
Betonski ili drveni strop u prostorijama s mnogo tamne prašine	10%
Bijeli zidovi s prozorima zastrtim zavjesama	70%
Bijeli zidovi s nezastrtim prozorima	50%
Betonski zidovi s prozorima, zidovi presvučeni tapetama svijetlih vrsta	30%
Opće ostakljenje bez zavjesa, neožbukana crvena opeka	10%

(Prema G. M. Knorringu.)

365

Potrebna osvijetljenost prostorija

prema JUS U.C9.100/1963 (»Dnevno i električno osvjetljenje prostorija u zgradama«)

Zahtjevi na rasvjetu	Samo opća rasvjeta		Opća rasvjeta sa dopunskom rasvjetom radnog mjesta			
			Opća rasvjeta		Dopunska rasvjeta radnog mjesta	
	Minimalna prosječna osvijetljenost, luksa					
	a	b	a	b	a	b
Vrlo mali	30	50	—	—	—	—
Mali	50	80	—	—	—	—
Srednji	80	150	30	50	150	300
Veliki	150	300	50	80	300	600
Vrlo veliki	300	600	80	150	600	1000
Vanredno veliki	—	—	150	300	preko 1000	

Vrijednosti u stupcima a odnose se na rasvjetu žaruljama (sijalicama s užarenom niti), a vrijednosti u stupcima b odnose se na rasvjetu fluorescentnim cijevima ili sličnim izvorima svjetlosti.

Vrijednosti osvijetljenosti za opću rasvjetu odnose se na horizontalnu ravninu 0,85 m iznad poda, a vrijednosti osvijetljenosti za dopunsku rasvjetu radnog mjesta odnose se na radnu ravninu tog radnog mjesta.

Vrijednosti navedene u gornjoj tablici vrijede za predmete i površine sa srednjim refleksima i kontrastima. Za predmete i površine sa slabim refleksima i kontrastima treba navedene vrijednosti povećati da bi vidljivost ostala zadovoljavajuća.

Zahtjevi koje postavljaju pojedine djelatnosti u pogledu rasvjete ovise o vidnim zadacima pri radu. Vidni zadaci ovise o finoći rada pa su zahtjevi na rasvjetu to veći što je rad finiji. Evo pregleda ovih zahtjeva u odnosu na finoću rada:

Vrst rada	promet	grubi rad	srednje fini rad	fini rad	vrlo fini rad	vanredno fini rad
Zahtjevi	vrlo mali	mali	srednji	veliki	vrlo veliki	vanredno veliki

Kakvi se zahtjevi postavljaju za pojedine vrsti radova i prostorija navedeno je pregledno u tablici 366, str. 622 do 627*. Vidi i vrlo detaljno razrađene preporučljive osvijetljenosti za pojedine vrsti radova u IES Lighting Handbook**.

---

* Ova se tablica osniva na tablici koju je izradio Jugoslavenski komitet za osvjetljenje.

** Izdanje Illuminating Engineering Society, New York 1959. (3. izdanje).

366 **Primjeri radova i prostorija s obzirom**

Redni broj	Djelatnost	Primjeri radova vrlo mali	mali
1	Prostorije bez posebno određenih radnih mjesta, odnosno prostorije za opće službe svih grana privrednih djelatnosti.	Sporedne i podrumske prostorije te nusprostorije bez posebne namjene. Spremišta i skladišta nekurentne robe i ambalaže. Sporedni prolazi i hodnici. Kolnici.	Glavni prolazi i hodnici: stubišta, skladišta, garaže, zahodi, garderobe, umivaonice, kupaonice, teretne i osobne dizalice, kotlovnice. Pakiranje i
2	Metalurgija i obrada metala uopće		Lijevanje velikih i grubih odljevaka. Valjanje i vučenje grubih i velikih profila. Kovanje na nakovnju i ukovnju. Kotlarski radovi. Pjeskarenje te gruba obrada uopće.
3	Elektroindustrija i elektroprivreda		Rasklopne stanice.
4	Keramička, cementna i staklarska industrija.		Mljevenje i miješanje materijala uopće. Radovi u prostorijama uz peći i u pećima. Nadgledanje rada strojeva.
5	Kemijska industrija.		Radovi uz peći. Kuhanje, automatsko destiliranje. Žrvnanje, mljevenje i valjanje sirovina. Mehanička sušila i kristalizatori.
6	Drvna industrija i obrada drva.		Piljenje drva jarmačama (gaterima).

i prostorija ako su zahtjevi			
srednji	veliki	vrlo veliki	vanredno veliki
Čekaonice. Radionice za obične radove na koje se ne stavljaju nikakvi naročiti zahtjevi u pogledu preciznosti. Prostorije za grubo sortiranje.	Sortiranje robe, očitavanje instrumenata. Laboratorijski radovi.		
otprema robe	Kontrola proizvoda i robe — Revizija		
Tlačni liv, lijevanje manjih komada. Jednostavnije kalupljenje. Valjanje i vučenje srednjih profila. Obični radovi na svim vrstima strojeva za obradu metala. Rezanje cijevi i limova te njihova obrada. Bravarski radovi i gruba montaža. Autogeno i električno varenje.	Izrada složenijih kalupa i jezgri; kontrola lijevanja, valjanje odnosno vučenje finih profila i limova. Finiji radovi na svim vrstima strojeva za obradu metala. Priprema i udešavanje svih vrsti strojeva. Fina montaža, mehaničarski radovi, poliranje.	Izrada mjerila i instrumenata. Finomehaničarski radovi. Urarstvo	Izrada preciznih mjernih instrumenata. Graviranje, cizeliranje, zlatarski radovi.
Strojarnice. Izrada kabela i drugih vodiča. Namatanje svitaka grubom žicom. Lakiranje i natapanje svitaka. Galvaniziranje. Obični montažni radovi na većim strojevima i uređajima.	Rasklopne ploče s mjernim instrumentima. Montaža manjih motora i finije aparature za sva postrojenja slabe struje i malog napona. Namatanje finijih svitaka.	Montaža finih mjernih instrumenata te njihovo ispitivanje i justiranje. Izrada rastalnih osigurača.	
Izrada jednostavnijih modela. Valjanje, prešanje i oblikovanje jednostavnijih dijelova. Duvanje stakla. Glaziranje.	Brušenje i poliranje stakla te njegova obrada kiselinama. Finiji keramičarski i staklarski radovi uopće. Oblikovanje, ukrašavanje i oslikavanje finijih predmeta.	Izrada i brušenje optičkih stakala te sastavljanje optičkih instrumenata Ručno brušenje kristalnog stakla i vezana obrada.	Graviranje. Posebna površinska i umjetnička obrada stakla.
Elektroliza. Centrifugiranje. Punjenje. Oblikovanje gumenih predmeta. Vulkaniziranje. Izrada i prešanje predmeta od plastične mase. Vaganje i obična mjerenja.	Popravak gumenih zračnica i obodnica. Analize. Izrada recepata.	Ispitivanje boja.	
Jednostavniji radovi na svim vrstima strojeva za obradu drva.	Radovi na svim vrstima strojeva za finiju obradu drva. Izrada modela. Poliranje, lakiranje, izrada sita, sastavljanje finijih predmeta.	Intarzija, rezbarenje i tome slična fina obrada drva. (Umjetničko ukrašavanje i lakiranje bojama.)	

Primjeri radova i prostorija s obzirom

Redni broj	Djelatnost	Primjeri radova vrlo mali	mali
7	Tekstilna industrija		Radovi močenja i natapanja.
8	Prehrambena industrija		Pranje i čišćenje bačava i ostalih sudova. Čišćenje, rešetanje, ljuštenje i kuhanje u tvornicama konzervi i čokolade. Radovi u hladnjačama. Prerada mesa. Prerada repe u šećeranama. Sušenje i fermentiranje duhana.
9	Industrija i prerada materijala		Radovi u jamama i kacama.
10	Industrija i prerada papira		Rezanje i mljevenje drva
11	Grafička industrija		
12	Trgovina	Spremišta za privremeno deponiranje robe.	Skladišta za sortiranu robu.

na zahtjeve prema rasvjeti (nastavak)

i prostorija ako su zahtjevi			
srednji	veliki	vrlo veliki	vanredno veliki
Grebljenje, češljanje bojadisanje. Toplo i hladno glačanje. Predenje jute.	Predenje, končanje, namatanje, krojenje, šivanje svijetle robe. Fino glačanje, sukanje.	Krojenje i šivanje tamne robe, dizanje očica.	Umjetno štopanje.
	Tkanje, čipkanje, pletenje, ispitivanje boja.		
Meljava, miješanje i pečenje tjestenine. Čišćenje i punjenje boca. Rezanje, miješanje i pasiranje voća i povrća. Radovi u mljekarstvu i izrada mliječnih proizvoda. Rafiniranje šećera. Radovi u pivovarama i podrumarstvu. Prerada duhana i cigareta.	Kontrola boje pri proizvodnji šećera. Sortiranje, vaganje i omotavanje. Sortiranje cigara. Ukrašavanje slatkiša.		
Struganje, cijepanje, bušenje i valjanje kože.	Krojenje, rezanje, šivanje, prešivanje, prešanje, sortiranje. Sedlarski i remenarski radovi. Izrada obuće, bojadisanje kože.		
Izrada celuloze i papirnjače. Radovi na strojevima za izradu, preradu i obradu papira, ljepenke i valovite ljepenke. Kartonaža. Obično knjigoveštvo.	Luksuzno knjigoveštvo. Prirezivanje i sortiranje, papira Zlatorez i pozlaćivanje.		
Brušenje i pripremanje litografskih ploča. Tiskanje tapeta. Ručno i strojno slaganje. Dotjerivanje sloga. Radovi oko tiskarskih strojeva. Izrada matrica.	Radovi na litografskim pločama. Sortiranje papira. Ručni tisak, preganje.	Izrada klišeja, litografija, retuširanje, crtanje, kontrola boja višebojnog tiska.	Graviranje u čeliku. Bakrorez.
Prodavaonice običnih prerađevina od metala kože, papira, stakla, keramike itd.	Prodavaonice finijih proizvoda svih vrsti materijala i prehrambenih artikala.		
Opća rasvjeta izloga.			
	Posebno isticanje izložene robe u izlozima.		

Primjeri radova i prostorija s obzirom

Redni broj	Djelatnost	Primjeri radova vrlo mali	mali
13	Obrt	Spremišta za privremeno odlaganje robe.	Obični radovi u radionicama, kao rezanje drva, prirezivanje, obična gruba obrada metala.
14	Uredi i ustanove		
15	Škole		
16	Zdravstvene ustanove		Spremišta rublja i razne ostave.
17	Prostorije za javne priredbe		Garderobe, toalete. Predvorja, kinodvorane. Prostorije za publiku u *kazalištu*.

na zahtjeve prema rasvjeti (nastavak)

i prostorija ako su zahtjevi			
srednji	veliki	vrlo veliki	vanredno veliki
Tapetarski i obični ličilački radovi. Izrada užeta. Obični radovi na svim vrstima strojeva za obradu drva, stakla, metala itd. Košarački i četkarski radovi. Izrada i popravak obuće. Kartonaža i knjigovežnica. Sedlarski i remenarski radovi. Obična obrada kože, papira i tkanina.	Finija obrada drva, metala, stakla, papira, kože itd. Finiji ličilački radovi. Krojenje i šivanje. Izrada šešira. Brijački i frizerski radovi. Radovi u dekoriranju te izrada galanterijske robe. Mehaničarski radovi.	Finomehaničarski radovi. Izrada i popravak mjernih instrumenata. Urarstvo.	Zlatarski radovi Graviranje. Ciseliranje.
Prostorije za opće kancelarijske radove. Arhiva. Registratura. Otprema pošte. Dvorana za opće konferencije.	Sortiranje pošte, finiji kancelarijski poslovi. Stenografiranje i strojno pisanje. Knjigovodstvo, likvidatura i sl.	Tehničko crtanje	
Aule. Gimnastičke dvorane. Strojarski laboratoriji. Prostorije za muzičku obuku.	Učionice, predavaonice, zbornice, čitaonice, kabineti, vježbaonice kemije i fizike. Radionice za sve vrsti običnog ručnog rada.	Crtaonice, radionice, za sve vrsti finijeg i preciznijeg ručnog rada.	
Bolesničke sobe, prostorije za dnevni boravak. Blagavaonice. Čekaonice. Prostorije za masasažu, inhaliranje i obasjavanje. Glavna kuhinja i priprema jela. Čajne kuhinje, sobe bolničkog osoblja.	Ordinacije, laboratoriji, apoteke.	Prostorije za previjanje i specijalnu njegu bolesnika.	Operacione dvorane i prostorije za obdukciju.
Čistionice. Dvorane za predavanja. Foyeri. Gimnastičke dvorane.	Izložbene prostorije. Pozornice i podiji.		
Dvorane za opće priredbe.			

367 Potrebna osvijetljenost sportskih i gimnastičkih dvorana i igrališta

Dvorana odn. igralište	Osvijetljenost lx*	Dvorana odn. igralište	Osvijetljenost lx
Boks, rasvjeta ringa, javni susreti	600—1000	Nogomet, igrališta 10 do 30 hiljada mjesta	300—600
„ trening	80—150	Isto, 5 do 10 hiljada mjesta	150—300
Gimnastika, javni nastupi	150—300	Isto, do 5000 mjesta	100—200
Gimnastičke dvorane, općenito	80—150	Nogomet, trening	50—100
Hokej na ledu, natjecanja	100—200	Odbojka, natjecanja	150—300
„ „ „ trening	80—150	„ trening u dvorani	80—150
„ „ „ zabava	50—100	„ trening vani	50—100
Klizališta	10—50	Plivališta	50—100
Košarka, natjecanja	150—300	Rukomet, natjecanja	150—300
„ trening u dvorani	80—150	„ trening	50—150
„ trening vani	50—100	Stolni tenis, natjecanja	250—500
Kuglanje, staza, natjec.	100—200	„ „ trening	150—300
„ čunjevi, „	300—600^{v}	„ „ zabava	100—200
„ staza, zabava	50—100	Tenis, natjecanja	200—300
„ čunjevi, „	150—300^{v}	„ trening	100—200
Nogomet, igrališta „ iznad 30000 mjesta	500—1000	„ zabava	80—120
		Vaterpolo, natjecanja	100—200
		„ trening	50—100

v - Vertikalna osvijetljenost.
Vidi i IES (Illuminating Engineering Society) Lighting Handbook, New York 1959 (3. izdanje), str. 9—85 i 9—86.

368 Potreban svjetlosni tok za rasvjetu izloga
u lumenima po tekućem metru izloga

Vrst ulice u velikim gradovima	Vrst ulice u malim gradovima	Izložena roba svijetla	Izložena roba srednje svijetla	Izložena roba tamna
Sporedne ulice	Sporedne ulice	450 — 700	1100 — 1700	2000 — 2500
Ulice živog prometa	Glavne ulice	1100 — 1700	2000 — 2500	4000 — 6500
Glavne ulice	—	2000 — 2500	4000 — 6500	8500 — 13000

Ako je izlog dublji od 2 m, treba vrijednosti iz tablice povećati za 30 do 50%.

369a Načini rasvjete

Način rasvjete	Od svjetlosnog toka koji daje svjetiljka ide u donju polukuglu	Od svjetlosnog toka koji daje svjetiljka ide u gornju polukuglu
Direktna rasvjeta	$\geqq$ 90%	$\leqq$ 10%
Poludirektna rasvjeta[1])	< 90%, ali $\geqq$ 60%	> 10%, ali $\leqq$ 40%
Jednolika rasvjeta	< 60%, ali > 40%	> 40%, ali < 60%
Poluindirektna rasvjeta[2])	$\leqq$ 40%, ali > 10%	$\geqq$ 60%, ali < 90%
Indirektna rasvjeta	$\leqq$ 10%	$\geqq$ 90%

* Prvi broj — minimalna osvjetljenost, drugi broj — preporučljiva osvijetljenost.
[1]) Kaže se i »pretežno direktna« rasvjeta.
[2]) Kaže se i »pretežno indirektna« rasvjeta.

Ekonomičnost i kvalitet raznih načina rasvjete

369 b

Rasvjeta	Ekonomičnost s obzirom na		Izgled prostorije	Bliještanje		Sjene	Održavanje
	horizontalnu plohu	vertikalnu plohu		direktno	indirektno		
Direktna, nezakriljena	—5	3	3	4	3	4	+4
Direktna, zakriljena	4	3	4	+4	4	—5	3
Poludirektna[1])	4	—4	+4	4	4	+4	4
Jednolika	4	4	—5	3	4	+4	4
Poluindirektna[2])	+2	+2	—5	—5	—5	—5	—4
Indirektna	+2	2	4	5	5	5	2

Primjedba: Brojevi označuju ocjene: 5 - odličan, 4 - vrlo dobar, 3 - dobar, 2 - priličan. Iz tablice se, na primjer, vidi da indirektna rasvjeta u pogledu ekonomičnosti nije dobra i da joj je održavanje teško, ali je zato u pogledu blještanja i sjena odlična, a daje i vrlo dobar izgled prostorije.

Proračun rasvjete prostorija

370

Potrebni svjetlosni tok za opću rasvjetu neke prostorije izračuna se po formuli.

$$\Phi = \frac{ES}{\eta k} \qquad [\text{lm, lx, m}^2, \%, 1]$$

Φ - ukupni svjetlosni tok svih svjetiljaka, E - potrebna osvijetljenost prema tablicama 365 do 367, S - površina poda prostorije, η - korisnost (stupanj djelovanja) rasvjete u %, k - faktor pogoršanja koji uzima u obzir pogoršanje korisnosti svjetiljaka zbog onečišćenja te opadanje svjetlosnog toka zbog starenja sijalica.

Korisnost η dobije se tako da se najprije pomoću tablice 371 odredi indeks prostorije*, a onda se pomoću tog indeksa u tablici 372 nađe pripadni η (za pripadni način rasvjete te svjetloću zidova i stropa).

Faktor pogoršanja k dobije se iz tablice 372.

Međusobni razmak svjetiljaka odredi se za direktnu rasvjetu pomoću tablice 374, a za ostale vrsti rasvjete pomoću tablice 372.

Svjetlosni tok jedne svjetiljke: $\Phi_1 = \Phi/N$, gdje je N broj svjetiljaka u prostoriji. Prema tom svjetlosnom toku Φ_1 odaberu se potrebne sijalice** pomoću tablica 359 do 362.

---

[1]) Kaže se i »pretežno direktna« rasvjeta.
[2]) Kaže se i »pretežno indirektna« rasvjeta.
* Indeks prostorije uzima u obzir utjecaj mjera (duljine i širine) prostorije te visine zavješenja svjetiljaka na korisnost rasvjete. Ovdje je upotrebljeno slovno označivanje indeksa prostorije dok se često upotrebljava i numerički indeks prostorije.
** Vidi primjedbu označenu zvjezdicom (*) ispod teksta na strani 612.

371

Indeks prostorije za proračun rasvjete

Pretežno indirektna i indirektna rasvjeta	Razmak od poda do stropa m											
	od	2,2	2,7	3,2	3,7	4,2	4,7	5,5	7,0	9,0	12	17
	do	2,7	3,2	3,7	4,2	4,7	5,5	7,0	9,0	12	17	25
Direktna, pretežno direktna i jednolika rasvjeta	**Razmak od poda do svjetiljke**											
	od	1,5	2,0	2,5	2,9	3,2	3,5	4,0	4,7	6,0	8,0	10
	do	2,0	2,5	2,9	3,2	3,5	4,0	4,7	6,0	8,0	10	18
Širina prostorije m	**Duljina prostorije m**	**Indeks prostorije**										
2,6 — 3,5	2,6 — 3,3	G	H	I	J	J	J					
	3,3 — 4,6	G	H	I	I	I	J					
	4,6 — 6,6	F	G	H	I	I	J	J				
	6,6 — 10	F	G	G	H	H	I	J	J			
	10 — 15	E	F	G	H	H	I	J	J	J		
3,5 — 4,3	3,5 — 4,6	F	G	H	I	I	I	J	J			
	4,6 — 6,6	E	F	G	H	H	I	J	J			
	6,6 — 10	E	F	G	G	H	H	I	J			
	10 — 14	D	E	F	G	G	H	I	J	J		
	14 — 20	D	E	F	F	G	G	H	I	J		
4,3 — 5,3	4,3 — 6,6	E	F	G	H	H	H	I	J			
	6,6 — 10	D	E	F	G	G	H	I	J			
	10 — 14	D	E	F	F	F	G	H	I	J		
	14 — 20	C	E	E	F	F	F	H	I	J	J	
	20 — 30	C	D	E	E	E	F	G	H	J	J	
5,3 — 6,3	5,3 — 6,6	D	E	F	G	G	H	I	J	J		
	6,6 — 10	D	E	F	F	G	G	H	I	J		
	10 — 14	C	D	E	F	F	G	H	H	J	J	
	14 — 20	C	D	E	E	F	F	G	G	I	J	J
	20 — 36	C	D	E	E	E	F	G	G	I	J	J
6,3 — 7,3	6,6 — 10	C	D	E	F	F	G	H	I	J		
	10 — 14	C	D	E	E	F	F	G	H	I	J	
	14 — 20	C	D	D	E	E	E	F	G	H	J	J
	20 — 80	B	C	D	E	E	E	F	G	H	J	J
	30 — 42	B	C	D	D	E	E	F	F	H	I	J
7,3 — 9,0	7,3 — 10	C	D	E	E	F	F	G	H	J	J	
	10 — 14	B	C	D	E	E	F	G	G	J	J	
	14 — 20	B	C	D	D	E	E	F	G	I	J	J
	20 — 30	B	C	D	D	D	E	F	F	I	J	J
	30 — 46	B	C	C	D	D	E	E	F	H	I	J

Prema Elektroindustrie br. 10/1949.

Indeks prostorije za proračun rasvjete (nastavak)

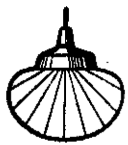
Pretežno indirektna i indirektna rasvjeta		Razmak od poda do stropa m										
	od	2,2	2,7	3,2	3,7	4,2	4,7	5,5	7,0	9,0	12	17
	do	2,7	3,2	3,7	4,2	4,7	5,5	7,0	9,0	12	17	25
Direktna, pretežno direktna i jednolika rasvjeta		**Razmak od poda do svjetiljke**										
	od	1,5	2,0	2,5	2,9	3,2	3,5	4,0	4,7	6,0	8,0	10
	do	2,0	2,5	2,9	3,2	3,5	4,0	4,7	6,0	8,0	10	18
Širina prostorije m	**Duljina prostorije m**	**Indeks prostorije**										
9 — 11	9,0 — 14	B	C	D	D	E	E	F	G	I	J	J
	14 — 20	B	C	C	D	D	D	F	F	H	I	J
	20 — 30	B	B	C	C	C	D	E	F	H	I	J
	30 — 46	A	B	C	C	C	D	E	E	G	H	I
	46 — 60	A	B	C	C	C	D	E	E	G	H	I
11 — 13	11 — 14	A	B	C	D	D	E	F	F	I	I	J
	14 — 20	A	B	C	C	C	D	E	F	H	I	J
	20 — 30	A	A	C	C	C	C	E	E	H	H	J
	30 — 46	A	A	B	C	C	C	D	E	G	H	I
	46 — 66	A	A	B	C	C	C	D	E	F	G	H
13 — 17	13 — 20	A	A	B	C	C	C	E	F	H	I	I
	20 — 30	A	A	B	B	B	C	D	E	G	H	I
	30 — 46	A	A	B	B	B	C	D	E	F	G	H
	46 — 66	A	A	A	B	B	C	D	D	F	G	H
	66 — 90	A	A	A	B	B	C	D	D	F	F	G
17 — 23	17 — 30	A	A	A	A	B	B	C	D	F	G	H
	30 — 46	A	A	A	A	B	B	C	C	E	F	G
	46 — 66	A	A	A	A	B	B	C	C	E	E	F
	66 — 130	A	A	A	A	A	B	C	C	E	E	F
23 — 28	23 — 30	A	A	A	A	A	A	B	C	E	F	G
	30 — 46	A	A	A	A	A	A	B	C	E	F	F
	46 — 66	A	A	A	A	A	A	B	B	D	E	F
	66 — 140	A	A	A	A	A	A	B	B	D	E	F
28 — 40	28 — 46	A	A	A	A	A	A	A	B	D	E	F
	46 — 66	A	A	A	A	A	A	A	B	D	E	F
	66 — 140	A	A	A	A	A	A	A	B	C	D	E

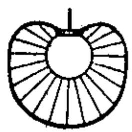
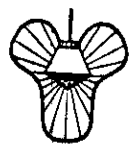
Prema Elektroindustrie br. 10/1949.

372

Korisnost svjetiljaka i prostorije za proračun rasvjete

a) Svjetiljke s točkastim izvorima svjetlosti (žaruljama i dr.)

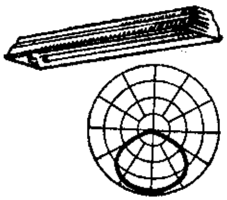
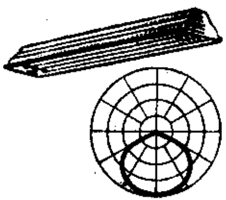
Vrst svjetiljke i njezin svjetlosni dijagram	Opis svjetiljke*	Najveći međusobni razmak svjetiljaka**	Koeficijent pogoršanja rasvjete u uvjetima čistim / srednjim / prljavim	Strop → / Zidovi → / Indeks prostor.	Vrlo svijetao (70%) Prilično svijetli (50%)	Vrlo svijetao (70%) Prilično tamni (30%)	Vrlo svijetao (70%) Vrlo tamni (10%)	Prilično svijetao (50%) Prilično svijetli (50%)	Prilično svijetao (50%) Prilično tamni (30%)	Prilično svijetao (50%) Vrlo tamni (10%)	Prilično taman (30%) Prilično tamni (30%)	Prilično taman (30%) Vrlo tamni (10%)
					Korisnost u %							
	Za direktnu rasvjetu, otvoreni reflektor, normalna sijalica $\eta = 75\%$ $\Phi_g = 0\%$ $\Phi_d = 75\%$	1 × PS	0,80 / 0,75 / 0,65	J	36	32	28	36	31	28	31	28
				I	45	41	38	44	40	37	40	37
				H	49	44	42	48	44	42	44	42
				G	52	49	47	51	49	47	49	47
				F	55	51	49	53	51	49	51	49
				E	59	57	54	58	56	53	56	53
				D	64	61	59	62	60	58	60	58
				C	65	63	60	64	61	59	61	59
				B	68	66	64	67	65	63	65	63
				A	69	67	65	68	66	65	66	64
	Za direktnu rasvjetu, otvoreni, duboki emajlirani reflektor $\eta = 66\%$ $\Phi_g = 0\%$ $\Phi_d = 66\%$	1 × PS	0,80 / 0,75 / 0,65	J	32	28	25	32	28	25	27	25
				I	40	36	34	39	35	33	35	33
				H	43	39	37	42	39	37	39	37
				G	46	43	41	45	43	41	43	41
				F	48	45	43	47	45	43	45	43
				E	52	50	48	51	49	47	49	47
				D	56	54	52	55	53	51	53	51
				C	57	55	53	56	54	52	54	52
				B	60	58	56	59	57	55	57	55
				A	61	59	57	60	58	57	58	56
	Za direktnu rasvjetu, zatvoreni difuzni reflektor $\eta = 67\%$ $\Phi_g = 7\%$ $\Phi_d = 60\%$	1 × PS	0,75 / 0,70 / 0,60	J	29	25	21	28	24	21	23	21
				I	36	32	29	35	31	28	31	28
				H	39	36	33	38	35	33	34	32
				G	42	39	36	41	38	36	37	35
				F	45	42	39	43	40	38	39	38
				E	49	46	43	48	45	43	44	42
				D	53	50	47	51	49	47	47	46
				C	54	52	49	52	50	49	49	47
				B	57	55	53	55	53	51	51	50
				A	58	56	54	56	54	53	52	51

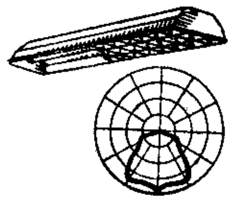
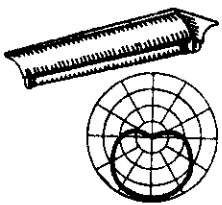
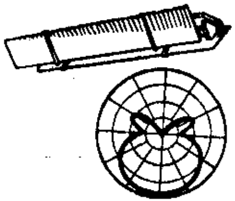
	Za poluindir. rasvjetu, balon od bijelog stakla $\eta = 80\%$ $\Phi_g = 35\%$ $\Phi_d = 45\%$	$1{,}2 \times PS$	0,80 / 0,75 / 0,65	J	22	17	14	20	16	13	14	12
				I	27	22	19	25	21	18	19	17
				H	31	26	23	28	24	21	22	19
				G	35	30	26	31	27	24	25	22
				F	38	33	29	34	30	27	27	24
				E	42	38	33	38	34	31	31	28
				D	46	41	37	41	37	34	34	31
				C	49	45	40	43	39	36	36	33
				B	53	48	44	47	43	40	38	36
				A	55	51	47	49	45	42	40	38
	Za pretežno indirektnu rasvjetu $\eta = 72\%$ $\Phi_g = 51\%$ $\Phi_d = 21\%$	$1{,}2 \times PStr$	0,75 / 0,65 / —	J	16	12	10	13	10	8	8	7
				I	20	16	14	17	14	11	11	9
				H	23	19	17	19	16	14	13	11
				G	26	22	19	22	18	16	14	13
				F	29	25	21	24	20	19	16	14
				E	32	28	25	27	23	21	18	17
				D	35	31	28	29	26	24	20	19
				C	38	34	31	31	28	26	22	21
				B	41	38	35	34	31	29	24	23
				A	43	39	37	36	33	31	26	24
	Za indirektnu rasvjetu $\eta = 80\%$ $\Phi_g = 80\%$ $\Phi_d = 0\%$	$1{,}2 \times PStr$	0,70 / 0,60 / —	J	15	12	10	11	9	7	5	4
				I	18	15	13	13	11	9	7	6
				H	22	19	16	15	13	11	8	7
				G	25	22	19	18	15	13	9	8
				F	27	24	21	20	17	15	10	9
				E	30	27	25	22	19	17	11	10
				D	34	31	28	24	22	20	13	12
				C	36	33	30	26	24	22	14	13
				B	40	37	34	28	26	24	15	14
				A	42	39	37	30	28	26	17	15

* η - korisnost (stupanj djelovanja) svjetiljke, Φ_g, Φ_d svjetlosni tok isijavan u gornju odn. donju polukuglu (u % svjetlosnog toka, koji daje sijalica).

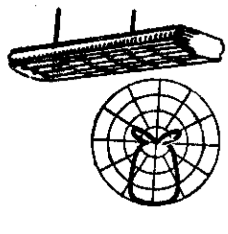
** PS - razmak od poda do sijalice, PStr - razmak od poda do stropa.

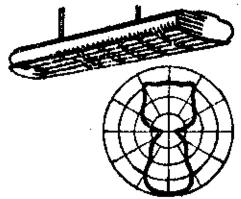
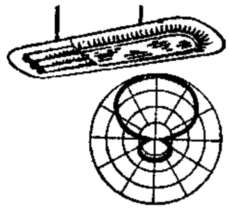
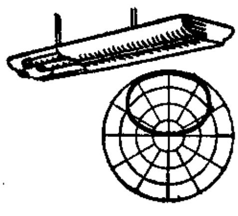
b) Svjetiljke s fluorescentnim sijalicama (cijevima)

Vrst svjetiljke i njezin svjetlosni dijagram	Opis svjetiljke*	Najveći međusobni razmak svjetiljaka**	Koeficijent pogoršanja rasvjete u uvjetima čistim / srednjim / prljavim	Strop → / Zidovi → / Indeks prostor.	Vrlo svijetao (70%) Prilično svijetli (50%)	Vrlo svijetao (70%) Prilično tamni (30%)	Vrlo svijetao (70%) Vrlo tamni (10%)	Prilično svijetao 50% Prilično svijetli (50%)	Prilično svijetao 50% Prilično tamni (30%)	Prilično svijetao 50% Vrlo tamni (10%)	Prilično taman (30%) Prilično tamni (30%)	Prilično taman (30%) Vrlo tamni (10%)
					Korisnost u %							
	Za direktnu rasvjetu, 1 ili 2 sijalice, metalni reflektor, lakiran bijelo bez sjaja $\eta = 80\%$ $\Phi_g = 0\%$ $\Phi_d = 80\%$	0,9 × PS	0,70 / 0,60 / 0,50	J	39	34	31	38	34	31	34	31
				I	47	44	42	46	43	41	42	40
				H	51	48	46	50	47	46	47	45
				G	55	52	50	54	52	49	50	48
				F	58	55	52	56	53	52	52	51
				E	61	59	57	60	58	58	57	55
				D	66	63	60	64	62	60	61	59
				C	68	65	62	66	63	62	62	61
				B	70	67	66	68	65	64	64	63
				A	71	69	67	69	67	65	66	64
	Isto samo sa 3 sijalice $\eta = 70\%$ $\Phi_g = 0\%$ $d = 70\%$	1 × PS	0,65 / 0,55 / 0,45	J	34	29	25	33	29	25	28	25
				I	42	38	35	41	37	34	37	34
				H	46	42	39	44	42	39	41	39
				G	50	46	43	48	45	41	44	41
				F	53	49	46	51	47	44	47	44
				E	57	54	51	56	52	50	52	50
				D	61	58	55	59	56	54	56	54
				C	63	60	57	61	58	56	58	56
				B	66	64	61	64	60	59	60	59
				A	67	65	62	66	62	61	62	60

	Za direktnu rasvjetu, 2 do 4 sijalice, metalni reflektor s rešetkom od metala ili tlačevine $\eta = 60\%$ $\Phi_g = 0\%$ $\Phi_d = 60\%$	1 × PS	0,70 0,60 0,50	J	31	27	24	30	27	24	26	24
				I	37	34	32	37	33	32	33	32
				H	40	38	36	40	38	36	37	36
				G	43	41	39	43	41	39	40	39
				F	46	43	41	44	43	41	42	41
				E	49	47	44	48	46	44	46	44
				D	52	50	48	51	49	48	49	48
				C	54	52	49	53	50	49	50	49
				B	56	54	52	54	53	52	52	51
				A	57	55	53	56	54	53	53	52
	Za direktnu rasvjetu, 1 do 3 sijalice, metalni reflektor lakiran bijelo bez sjaja $\eta = 85\%$ $\Phi_g = 10\%$ $\Phi_d = 75\%$	1 × PS	0,75 0,65 0,55	J	32	27	23	32	26	23	25	23
				I	40	35	31	39	34	30	34	30
				H	44	39	36	43	39	35	36	35
				G	48	43	40	46	42	39	41	39
				F	52	47	43	50	46	42	45	42
				E	57	52	48	55	51	47	50	46
				D	62	56	52	59	55	51	54	51
				C	65	59	54	62	57	54	56	53
				B	69	63	59	65	61	58	60	58
				A	71	66	62	67	63	60	61	60
	Za pretežno direktnu rasvjetu, 1 do 3 sijalice, zaštita od blještanja mutnim ili opalnim staklom $\eta = 70\%$ $\Phi_g = 20\%$ $\Phi_d = 50\%$	1,2 × PS	0,70 0,60 0,50	J	26	21	18	22	19	16	16	15
				I	31	26	24	27	24	22	21	19
				H	34	30	28	30	27	25	24	22
				G	38	34	31	34	30	28	26	25
				F	41	37	33	36	33	30	28	27
				E	45	41	38	40	36	34	31	30
				D	49	45	42	42	41	37	34	33
				C	51	48	44	44	44	39	36	34
				B	55	51	49	47	45	43	38	37
				A	57	53	51	49	46	44	40	38

b) Svjetiljke s fluorescentnim sijalicama (cijevima) (nastavak)

Vrst svjetiljke i njezin svjetlosni dijagram	Opis svjetiljaka*	Najveći međusobni razmak svjetiljaka**	Koeficijent pogoršanja rasvjete u uvjetima čistim / srednjim / prljavim	Strop → / Zidovi → / Indeks prostor.	Vrlo svijetao (70 %) Prilično svijetli (50%)	Vrlo svijetao (70 %) Prilično tamni (30%)	Vrlo svijetao (70 %) Vrlo tamni (10%)	Prilično svijetao (50%) Prilično svijetli (50%)	Prilično svijetao (50%) Prilično tamni (30%)	Prilično svijetao (50%) Vrlo tamni (10%)	Prilično taman (30%) Prilično tamni (30%)	Prilično taman (30%) Vrlo tamni (10%)
					Korisnost u %							
	Za pretežno direktnu rasvjetu, 2 do 4 sijalice, gore masivno opalno staklo, dolje rešetka $\eta = 75\%$ $\Phi_g = 15\%$ $\Phi_d = 60\%$	1,2 × PS	0,70 / 0,60 / 0,50	J	26	23	21	23	21	20	20	18
				I	32	29	28	28	26	25	24	21
				H	35	33	31	31	29	28	27	25
				G	38	36	34	35	32	31	29	27
				F	42	39	36	37	34	33	30	29
				E	45	42	40	40	37	36	33	31
				D	49	45	43	42	40	38	35	34
				C	51	49	45	44	42	40	36	35
				B	54	51	49	46	44	43	37	36
				A	55	53	51	48	46	44	39	37
	Za poluindirektnu rasvjetu, 1 do 3 sijalice, zaštita od blještanja mutnim ili opalnim staklom $\eta = 75\%$ $\Phi_g = 40\%$ $\Phi_d = 35\%$	1,2 × PS	0,70 / 0,60 / 0,50	J	24	20	17	23	19	16	18	16
				I	30	26	23	28	24	22	24	21
				H	33	29	27	31	28	26	27	25
				G	36	32	29	34	31	28	29	27
				F	39	35	32	36	33	31	31	30
				E	42	39	36	40	37	35	35	33
				D	46	43	40	43	40	38	38	37
				C	48	45	42	44	42	40	40	38
				B	51	48	45	47	45	43	42	41
				A	52	50	47	49	46	45	43	42

	Za poluindirektnu rasvjetu, 1 do 3 sijalice, gore otvoreno, dolje rešetka $\eta = 80\%$ $\Phi_g = 45\%$ $\Phi_d = 35\%$	0,9 × PS	0,70 0,60 0,50	J	24	21	19	21	19	18	18	17
				I	30	27	26	26	24	23	22	21
				H	32	30	29	29	27	25	25	24
				G	35	33	31	31	29	28	26	26
				F	38	35	33	32	31	29	28	27
				E	40	38	36	35	34	32	31	29
				D	43	40	39	37	36	34	32	31
				C	45	42	40	39	37	35	33	32
				B	47	44	43	40	38	37	34	33
				A	48	46	44	41	39	38	35	34
	Za pretežno indirektnu rasvjetu, 2 do 4 sijalice, gore otvoreno, dolje masivno opalno staklo $\eta = 80\%$ $\Phi_g = 70\%$ $\Phi_d = 10\%$	1,2×PStr	0,60 0,50 0,40	J	18	14	12	14	11	9	8	7
				I	22	19	17	17	15	13	10	9
				H	26	22	19	20	17	15	12	10
				G	29	25	22	22	19	17	14	12
				F	32	28	25	24	21	19	15	14
				E	35	32	29	27	24	21	17	15
				D	39	35	32	29	26	24	19	18
				C	42	38	35	31	28	27	20	19
				B	46	42	39	34	31	29	22	21
				A	48	44	42	36	33	31	23	22
	Za indirektnu rasvjetu, 2 do 4 sijalice, gore otvoreno, dolje metalni reflektor $\eta = 80\%$ $\Phi_g = 80\%$ $\Phi_d = 0\%$	1,2×PStr	0,60 0,50 0,40	J	15	11	10	9	8	6	4	3
				I	19	15	13	12	10	9	6	4
				H	22	19	16	14	12	10	7	5
				G	26	22	19	17	14	13	8	7
				F	28	24	21	19	16	14	9	8
				E	32	28	25	21	18	17	11	10
				D	35	31	29	23	21	19	12	11
				C	38	34	31	25	22	21	13	12
				B	42	39	36	27	25	24	15	14
				A	43	41	38	29	27	25	16	15

* Vidi primjedbu ispod teksta na strani 633.

** Vidi primjedbu ispod teksta na strani 633.

373 Svjetlosnotehnički uvjeti za dobru rasvjetu prostorija*

u skladu s JUS U.C9.100/1963.

1. Osvijetljenost (jakost rasvjete)

Osvijetljenost treba da odgovara vidnim zadaćama pri radu, tj. vrsti rada, odnosno zahtjevima koji se postavljaju na rasvjetu pojedinih prostorija. Vidi standarde i tablice na stranama 621 do 628.

2. Prostorna jednolikost (ravnomjernost) rasvjete

Dobra prostorna jednolikost rasvjete postiže se najpovoljnije samo općom rasvjetom. Za samo opću rasvjetu jednolikost rasvjete (tj. omjer između osvijetljenosti najslabije osvijetljenog mjesta i srednje osvijetljenosti prostorije) treba da iznosi:

— za vrlo male zahtjeve 1:6 do 1:3
— za male zahtjeve 1:3
— za srednje i velike zahtjeve 1:2,5
— za vrlo velike i vanredno velike zahtjeve 1:1,5.

Razlika osvijetljenosti međusobno povezanih prostorija, prema veličini zahtjeva, treba da se kreće u jednakim omjerima kao i jednolikost rasvjete prostorije kako je ovdje navedena.

3. Vremenska jednolikost (ravnomjernost) rasvjete

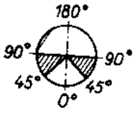
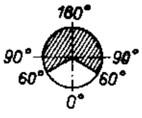
Napon mreže ne smije kolebati. Često je stoga potrebno da se motori i rasvjeta napajaju iz različitih strujnih krugova.

Stroboskopski efekt (vidi str. 610) javlja se naročito ako je prostorija osvijetljena sijalicama na izbijanje u plinu (fluorescentne cijevi, živine sijalice). Obično se ta pojava može ukloniti ili ublažiti duo-spojem, priključkom sijalica na dvije ili tri faze ili miješanim svjetlom, tj. dodatnom rasvjetom žaruljama. I žarulje imaju svoju nejednolikost, a ta je to manja što je snaga pojedinačnih žarulja veća (jer se deblje niti sporije hlade).

Ako se stroboskopske pojave navedenim mjerama ne mogu ukloniti, treba zaštititi dijelove strojeva na kojima se javljaju.

4. Blještanje izvora svjetlosti

Ovo se blještanje sprečava tako da luminancija (sjajnost) svjetiljaka u kritičnom području ne prekorači granice navedene u tablici:

	Svjetiljke za opću rasvjetu	Svjetiljke za dopunsku rasvjetu radnog mjesta
Granica luminancije (vidi str. 59, 70 i 610)	3000 nt ili 0,3 sb	2000 nt ili 0,2 sb
Kritično područje isijavanja	45 do 90°	60 do 180
Slika kritičnog područja isijavanja (označeno crtkano)		

* Osim da zadovolji ove uvjete dobra rasvjeta mora:
— da zadovolji estetske uvjete,
— da bude ekonomična,
— da zadovolji odredbe sigurnosti.

5. Refleksno blještanje

Refleksno blještanje sprečava se

— smanjenjem luminancije (sjajnosti) izvora svjetlosti,

— obradom refleksnih površina da budu bez sjaja,

— razmještanjem izvora svjetlosti i refleksnih površina tako da se smjerovi gledanja i refleksije ne podudaraju.

6. Kontrastno blještanje

Radi što boljeg viđenja i što manjeg blještanja uslijed jakih kontrasta u vidnom polju treba

— da su kontrasti što jači u glavnom vidnom polju koje gledani predmet obrazuje s pozadinom,

— da ostala područja vidnog polja nemaju veću luminanciju (sjajnost) od glavnog vidnog polja,

— da luminancija ukupnog *vidnog polja bude što ravnomjernija*, tj. da omjeri luminancija ne prekorače granice navedene u ovom pregledu:

Između glavnog vidnog polja i bliže okoline vidnog polja . .	3:1 do 5:1
Između glavnog vidnog polja i daljnje okoline vidnog polja . .	10:1 do 20:1
Između izvora svjetlosti i susjednih površina unutar vidnog polja	20:1 do 40:1
Bilo gdje u prostoriji	*40:1 do 80:1*

Manji omjeri važe za škole, crtaonice, kancelarije i sl., a veći za industriju, zanate, trgovinu i sl.

Blještanje velikih svijetlih površina u okolini radnih mjesta sprečava se tako da se pojača osvijetljenost ili refleksija površina na radnom mjestu ili oslabi *refleksija u okolini*, a *može se spriječiti i primjenom indirektne* rasvjete.

7. Kontrasti i sjene

Da bi se predmeti dobro vidjeli, potrebne su razlike u luminanciji i sjene. Sjene, općenito, ne smiju biti suviše oštre ili tamne. Sjenovitost* u prostorijama ne smije biti manja od *0,2* ni veća od *0,8*.

Treba izbjegavati sjene koje smetaju viđenje, naročito sjene predmeta koji se kreću.

8. Boja svjetla

Prirodna boja predmeta je boja koju predmeti imaju pri svjetlosti sjevernog *lako naoblačenog neba (temperatura boje* 6700° K). Ako je pri umjetnoj* rasvjeti potrebno raspoznavanje boja, valja uzeti fluorescentne sijalice za danje svjetlo (temperatura boje 6500° K).

Jednobojno (monohromatsko) svjetlo (npr. natrijevim sijalicama) poželjno je samo u specijalnim slučajevima, npr. za kontrolu površine metalnih dijelova.

Što je *viša temperatura* boje izvora svjetlosti, to osvijetljenost mora biti jača jer inače rasvjeta djeluje neugodno. Najmanju osvijetljenost za pojedine temperature boje daje ovaj pregled:

Temperatura boje °K	2500	3000	3500	4000	4500	5000	6500
Najmanja osvijetljenost lx	60	130	200	250	320	400	500

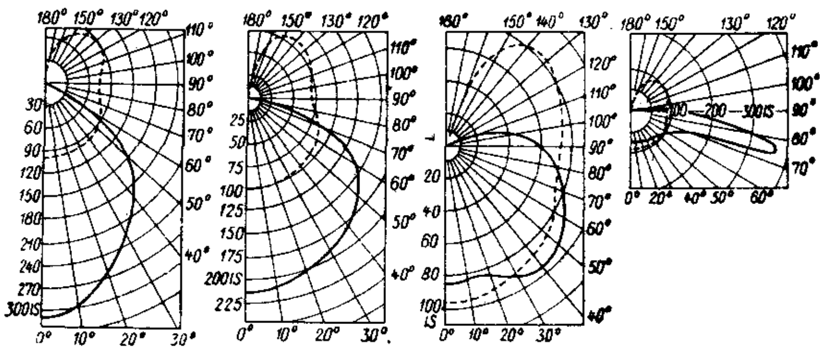
* Vidi stranu 619.

374 Visina zavješenja i međusobni razmak svjetiljaka direktne rasvjete

1	2	3	4	5	6
Veličina sijalica				Najmanja visina zavješenja nad podom	Najveći razmak za navedenu visinu zavješenja
Žarulje	Živine sijalice	Živine fluorescentne sijalice	Natrijeve sijalice		
W	W	W	W	m	m
do 60	—	—	—	2,5	2,6
100	—	—	—	2,8	2,8
150	—	—	45	2,8	2,8
200	80	80	60	3,2	3,2
300	125	125	85	3,7	3,5
500	250	—	140	4,3	3,9
750	—	400	—	5,2	4,4
1000	400	—	—	6,1	4,8
1500	—	—	—	7,3	6,1

Stupci 1 – 5 prema britanskom National Industrial Lighting Service, stupac 6 prema raznim autorima.

375 Fotometričke krivulje za svjetiljke sa sijalicama od 1000 lm



a) Primjer duboke svjetiljke

b) Primjer poluširoke svjetiljke

c) Primjer široke svjetiljke

d) Primjer vrlo široke svjetiljke

Primjedba: Naziv sijalica upotrebljen je ovdje kao opći naziv za sve vrsti električnih izvora svjetlosti (lampa). Svjetiljka je sijalica s armaturom. Žarulja je sijalica s užarenom niti.

Potrebna osvijetljenost na otvorenom

a) Prema prijedlogu Jugoslavenskog komiteta za osvjetljenje iz X 1958.

Objekt	Najpovoljnija osvijetljenost		Minimalna osvijetljenost	
	u prosjeku	najtamnijeg mjesta	u prosjeku	najtamnijeg mjesta
	lx	lx	lx	lx
Ulice i trgovi u naseljenim mjestima				
sa slabim prometom	3	0,5	1	0,2
sa srednjim prometom	8	1,5	3	0,75
s jakim prometom	15	4	8	2
s vrlo jakim prometom	20	6	12	4
Ceste i putovi van naseljenih mjesta	8	2	3	0,75
Autoputovi	15	4	8	2
Prolazi i stepeništa	15	5	5	2
Dvorišta				
sa srednjim prometom	6	1,5	3	0,75
sigurnosna rasvjeta	1	0,5	—	—
Željeznički uređaji				
peroni, prolazi, stepeništa	20	6	6	2
utovarna mjesta	15	5	5	2
glavni kolosijeci	5	2	2	0,5
sporedni kolosijeci	1,5	0,5	0,5	0,2

b) Prema DIN 5044/1958

Vrst ceste	Srednja horizontalna osvijetljivost E_{sr}* preporučljive vrijednosti		Prostorna jednolikost osvijetljenosti* minimalne vrijednosti	
	Površina ceste		$\frac{E_{min}}{E_{sr}}$	$\frac{E_{min}}{E_{max}}$
	svijetla	tamna		
	lx	lx		
Glavne prometne ulice s oko 1000 vozila na sat u jednom smjeru	8	16	1:3	1:6
Prometne ulice s oko 500 vozila na sat u jednom smjeru	6	12	1:3	1:6
Ulice i ceste koje spajaju autoputove s gradovima, prolazne ceste kroz gradove	4	8	1:4	1:8
Ulice s trgovinama bez jakog prometa vozilima, ali s jakim pješačkim prometom	3	6	1:4	1:8
Ulice sa osrednjim prometom	2	4	1:4	1:8
Ulice i ceste sa slabim prometom, ulice i ceste u stambenim naseljima	0,5	1	—	—

* Na površini ceste.

377 Raspored svjetiljaka i proračun rasvjete na otvorenom

a) Visina zavješenja svjetiljaka

Visina zavješenja svjetiljaka ulične rasvjete nad tlom ne smije biti manja od $^1/_3$ širine ulice, a preporučuje se da ne bude manja od $^1/_2$. Visina svjetiljaka zavješenih iznad ulice obično se uzima 6 do 8 m. Visina svjetiljaka na kandelabrima penje se kod rasvjete trgova i širokih ulica do 12 m, dok kod manjih kandelabara sa svjetiljkom u obliku laterne visina nad tlom može biti mnogo manja, sve do 3,5 m. Za ulice široke iznad 14 m preporučuje se uzeti 2 paralelna niza svjetiljaka.

b) Prostorna jednolikost rasvjete i međusobni razmak svjetiljaka

Međusobni razmak svjetiljaka ovisi o traženoj jednolikosti rasvjete. Treba nastojati da omjer srednje osvijetljenosti i osvijetljenosti najslabije osvijetljenog mjesta ne bude općenito veći od 3, a omjer osvijetljenosti najjače i najslabije osvijetljenog mjesta neka ne bude veći od 8 u ulicama sa slabim prometom, ne veći od 4 u ulicama sa srednjim prometom te ne veći od 3 u ulicama sa jakim i vrlo jakim prometom. (Osvijetljenost se računa za plohu 20 cm nad tlom.) Uz upotrebu širokih svjetiljaka, tj. svjetiljaka sa širokom fotometričkom krivuljom (vidi 375), to daje za razmak svjetiljaka u najprometnijim ulicama naših velikih gradova 2,5*h* do 3*h*, gdje je *h* visina zavješenja svjetiljaka nad tlom. U ulicama s osrednjim prometom razmak svjetiljaka može iznositi i do 4*h*, a u ulicama sa slabim prometom on može biti i veći.

c) Proračun

Osvijetljenost u bilo kojoj tački (računa se uvijek za plohu 20 cm nad tlom) jest

$$E = \frac{E_\alpha I_\alpha}{1000} \cdot \frac{\Phi}{1000}$$

gdje se E_α dobije iz tablice 378, I_α iz fotometričke krivulje (poput onih u 373) za dotičnu svjetiljku, a za kut α koji se također dobije iz tablice 378; Φ je svjetlosni tok što ga daje sijalica.

Ako u istraživanu tačku dopire svjetlost od nekoliko svjetiljaka, treba izračunati osvijetljenost za svaku svjetiljku pa zbrojiti tako dobivene vrijednosti.

d) Primjer proračuna rasvjete na otvorenom

Primjer: Neka ulica osvijetljena je jednim redom širokih svjetiljaka koje su međusobno udaljene 36 m, a zavješenje 7,2 m nad tlom. U svjetiljkama su živine sijalice po 400 W, 220 V. Kolika je osvijetljenost u sredini između dviju svjetiljaka? — Rješenje: $a = 18$ m, $h = 7$ m (mjerna ravnina 20 cm nad tlom!) Iz tablice 378: $E = 0{,}97$ lx, $\alpha = 69^0$, iz slike c) u 375 za $\alpha = 69^0$ dobijemo $I_\alpha = 80$ cd; iz tablice 361 za živinu sijalicu 400 W, 220 V (domaće proizvodnje) dobijemo $\Phi = 18\,500$ lm. Dakle je

$$E = \frac{0{,}97 \cdot 80}{1000} \cdot \frac{18\,500}{1000} \cdot 2 = 2{,}9$$

(Faktorom 2 uzima se u obzir da je sa svake strane po jedna svjetiljka.)

Ako se osvijetljenost većih površina računa tačnije, kostruiraju se izolukse — krivulje koje povezuju tačke jednake osvijetljenosti.

Osvijetljenost u ovisnosti o svjetlosnoj jakosti, visini zavješenja i udaljenosti od izvora svjetlosti **378**

a	Za jakost svjetlosti izvora I_α = 1000 kandela i za visinu zavješenja													
	$h = 4$ m		$h = 5$ m		$h = 6$ m		$h = 7$ m		$h = 8$ m		$h = 9$ m		$h = 10$ m	
m	α^0	E_α lx	α^0	E_α lx	α^0	E_α lx	α^0	E_α lx	α^0	E_α lx	α^0	E_α lx	α^0	E_α lx
0	0°	62,50	0°	40,0	0°	27,80	0°	20,4	0°	15,60	0°	12,35	0°	10,0
1	14°	57,1	11°	37,7	10°	26,65	8°	19,80	7°	15,25	6°	12,15	6°	9,85
2	27°	44,7	22°	32,0	19°	23,70	16°	18,15	14°	14,25	13°	11,50	11°	9,43
3	37°	32,0	31°	25,2	27°	19,90	23°	15,85	21°	12,85	19°	10,55	17°	8,79
4	45°	22,1	39°	19,05	34°	16,00	30°	13,35	27°	11,20	24°	9,42	22°	8,00
5	51°	15,25	45°	14,15	40°	12,60	36°	11,00	32°	9,53	29°	8,25	27°	7,16
6	56°	10,65	50°	10,5	45°	9,82	41°	8,93	37°	8,00	34°	7,11	31°	6,31
7	60°	7,65	55°	7,86	49°	7,66	45°	7,22	41°	6,66	38°	6,07	35°	5,50
8	64°	5,59	58°	5,96	53°	6,00	49°	5,83	45°	5,52	42°	5,15	39°	4,76
9	66°	4,19	61°	4,58	56°	4,74	52°	4,72	48°	4,58	45°	4,36	42°	4,11
10	68°	3,2	64°	3,58	59°	3,78	55°	3,85	51°	3,81	48°	3,70	45°	3,54
12	72°	1,975	67°	2,275	64°	2,485	60°	2,61	56°	2,665	53°	2,665	50°	2,625
14	74°	1,295	70°	1,525	67°	1,700	64°	1,825	60°	1,910	57°	1,950	55°	1,965
16	76°	0,892	73°	1,060	70°	1,200	66°	1,315	64°	1,400	61°	1,455	58°	1,490
18	78°	0,638	75°	0,767	72°	0,878	69°	0,972	66°	1,045	64°	1,105	61°	1,145
20	79°	0,471	76°	0,571	73°	0,659	71°	0,736	68°	0,800	66°	0,853	64°	0,894
22	80°	0,358	77°	0,435	75°	0,506	72°	0,569	70°	0,624	68°	0,670	66°	0,709
26	81°	0,215	79°	0,269	77°	0,316	75°	0,359	73°	0,397	71°	0,432	69°	0,463
30	82°	0,144	81°	0,178	79°	0,210	77°	0,239	75°	0,267	73°	0,293	72°	0,316
40	84°	0,062	83°	0,076	82°	0,091	80°	0,104	79°	0,118	77°	0,131	76°	0,143
50	85°	0,032	84°	0,039	83°	0,047	82°	0,051	81°	0,062	80°	0,069	79°	0,075
60	86°	0,018	85°	0,023	84°	0,027	83°	0,032	82°	0,036	82°	0,040	81°	0,044

Ova tablica preuzeta je iz priručnika AEG Hilfsbuch für elektrische Licht- und Kraftanlagen (4. izdanje), a dobivena je iz jednadžbe

$$E_\alpha = \frac{I_\alpha \cos^3 \alpha}{h^2} \qquad [\text{lx, cd, m}]$$

E_α - osvijetljenost mjerne (horizontalne) plohe 20 cm nad tlom (podom), I_α - jakost svjetlosti izvora u smjeru α (uzeto I_α = 1000 kandela), α - kut između okomice i smjera zrake svjetlosti, h - visina zavješenja svjetiljke nad mjernom plohom koja se uzima 20 cm nad tlom (podom), a - horizontalna udaljenost od svjetiljke.

POTROŠNJA ELEKTRIČNE ENERGIJE

379

Električko grijanje prostorija

a) Proračun potrebne snage električnih grijalica

Potrebna električka snaga za grijanje neke prostorije može se odrediti tako da se

1. odrede gubici topline u vatima koji nastaju zbog prolaza topline kroz zidove, strop, pod, vrata i prozore;

2. da se doda potrebna toplina za zagrijavanje zraka koji se mijenja ventilacijom;

3. da se zbroj dobivenih vrijednosti pod 1 i 2 pomnoži s nekim koeficijentom koji uzima u obzir intermitirano grijanje.

1. Specifični gubici topline u vatima po m^2 površine građevnog dijela i stupnju temperaturne razlike*

Zidovi	Debljina zida			
	12,5 cm ili 1/2 cigle	25 cm ili 1 cigla	37,5 cm ili 1 1/2 cigle	50 cm ili 2 cigle
Cigla ožbukana s obje strane	2,7	1,8	1,4	1,15
Beton	3,4	2,6	2,0	1,75
Kamen	—	2,9	2,2	1,95

Zidovi	Debljina zida			
	5 cm	6,5 cm	8 cm	10 cm
Šuplja cigla	2,45	2,3	2,2	1,9
Dvostruko drvo	—	1,7	1,5	1,15

Jednostruki prozori	6,2	Betonski pod sa zračnim prostorom ispod poda	0,2
Dvostruki prozori	3,5	Drvena vrata	3,0
Jednostruki drveni pod	2,5	Željezna vrata	5,0
Dvostruki drveni pod	1,9	Strop od drvenih letava i žbuke	3,1
Betonski pod 15 cm na zemlji	1,4	Krov od valovitog lima	13,5
Betonski pod 30 cm na zemlji	1,2		

Jednostruki drveni pod i strop od sloja greda, odozdo ožbukan 1,3

Betonski stropovi debljine →	10 cm	15 cm	20 cm	25 cm
Betonski strop	2,9	2,6	2,3	2,1
Beton sa zavješenom plafonskom žbukom	1,5	1,4	1,35	1,25

* Prema raznim autorima. (Uglavnom prema Molloy, »Electrical Engineer« — Reference Book, London 1945.)

Faktični gubici topline u vatima dobiju se tako, da se vrijednosti u gornjoj tablici pomnože sa površinom dotičnog građevnog dijela i razlikom temperatura unutar prostorije i s vanjske strane tog građevnog dijela. Za temperaturu tla može se uzeti da nije nikad niža od 10^0 C. Za površine izložene vjetru (sjever) treba vrijednosti u tablici pomnožiti s 1,15.

2. Izmjena zraka

Izmjena zraka zbog ventilacije ovisi o veličini prostorije. Približno se može uzeti:

Za prostorije m^3	do 300	300—600	600—900	900—1200	>1400
Broj izmjena zraka na sat	2	1,75	1,5	1,25	1

Toplina potrebna za zagrijavanje zraka = 0,39 W/m^3 i stupnju.

3. Dodatak za isprekidano grijanje

Vrijednosti izračunate na osnovu tablica 1 i 2 vrijede za takozvano stacionarno stanje. No prostorije se obično griju samo danju, a noću se hlade zidovi i zrak. Stoga treba izračunatim vrijednostima dodati izvjestan postotak za takvo isprekidano grijanje. Približno se može uzeti:

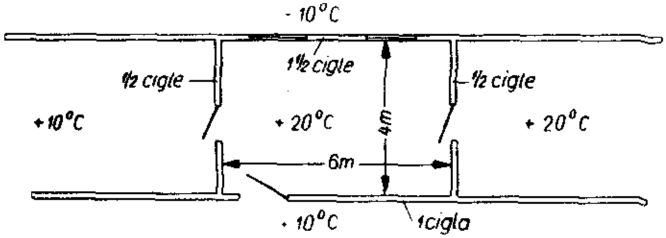
Grijanje počinje prije rada	1 sat	2 sata	3 sata
Izračunatim gubicima treba dodati	40 %	20 %	15 %

b) Razni načini grijanja i električne grijalice

Grijanje prostorija može biti konvekciono (vođenjem topline) i radijaciono (isijavanjem). Kod konvekcionog grijanja toplina se vođenjem (konvekcijom) prenosi od grijalice na sobni zrak ili ventilatori tjeraju zrak kroz zagrijač zraka. Zrak u prostoriji je topliji od zidova prostorije. Kod radijacionog grijanja treba razlikovati grijanje uz visoku temperaturu i grijanje uz nisku temperaturu. Za grijanje uz visoku temperaturu upotrebljavaju se infracrvene sobne ili kupaoničke grijalice s površinskom temperaturom iznad 250^0 C. Kod modernog radijacionog grijanja uz nisku temperaturu dovode se razmjerno velike površine zidova ili stropa na temperaturu 30 do 80^0 C, pri čemu treba nastojati da zrak uz ovako grijane površine bude što mirniji kako bi se što manje topline odvodilo konvekcijom. Takvo se grijanje zidova, stropa ili poda postiže grijaćim vodičima položenim u žbuku i raspoređenim tako da se griju cijele površine, npr. cijeli strop. Zbog toplinske radijacije ovakvih površina čovjek se može osjećati vrlo ugodno makar je zrak u prostoriji hladan. Da bi se ljudi u nekoj prostoriji osjećali ugodno, potrebno je (prema Weitbrechtu, Elektrowärme-Technik br. 5/1954) da između temperature zraka u prostoriji i temperature zidova budu ovi odnosi:

Ako je temperatura zraka prostorije	10	15	20	^{0}C
temperatura zidova treba da bude	>24	>22	17—26	^{0}C

c) Primjer proračuna električne snage potrebne za grijanje prostorija



Visina prostorije 3 m. Prozori dvostruki 1,20 × 1,70 m, vrata drvena 1,20 × 2,0 m, strop i pod: sloj greda odozdo ožbukan, a odozgo pokriven jednostrukom drvenom oplatom, temperatura prostorije iznad ove 5° C, a ispod ove 15° C. Prostorija se grije samo po danu, a počinje se grijati 2 sata prije početka rada, ali se dozvoljava da 1 sat nakon početka rada postigne konačnu temperaturu. Svi ostali podaci prema slici.

Građevni dio	Mjere		Površina		Temp. razlika		Koeficijent		Toplina
	m × m		m²		°		W/m²/°		W
Vanjski zid	(6 × 3) — 4	=	14	×	30	×	1,4	=	590
Zid prema hodniku	(6 × 3) — 2,4	=	15,6	×	10	×	1,8	=	280
Zid prema jednoj sobi	(4 × 3) — 2,4	=	9,6	×	0	×	2,7	=	—
Zid prema drugoj sobi	(4 × 3) — 2,4	=	9,6	×	10	×	2,7	=	260
Pod	6 × 4	=	24	×	5	×	1,3	=	160
Strop	6 × 4	=	24	×	15	×	1,3	=	470
2 vrata	1,2 × 2 × 2	=	4,8	×	10	×	3,0	=	140
1 vrata	1,2 × 2	=	2,4	×	0	×	3,0	=	—
2 prozora	1,2 × 1,7 × 2	=	4	×	30	×	3,0	=	360
Za zagrijavanje zraka potrebno je 6 × 4 × 3 × 2 × 15 × 0,39								=	840*
Ukupno za kontinuirano grijanje									3100
Dodatak od oko 20 % na isprekidano grijanje									600
Potrebna priključna vrijednost električkih peći									3700

* Pretpostavljeno je da zrak dolazi dijelom izvana a dijelom iz hodnika pa da ga treba zagrijati prosječno za 15°.

d) Približno potrebna električka snaga za grijanje prostorija (u vatima)

Veličina prostorije m³	Razlika temperature prostorije i vanjske temperature							
	5°	10°	15°	20°	25°	30°	35°	40°
20	300	600	900	1200	1500	1800	2100	2400
40	450	900	1250	1700	2100	2500	3000	3400
60	600	1200	1800	2400	3000	3500	4200	4800
80	750	1500	2200	3000	3600	4500	5300	6000
100	850	1700	2500	3500	4250	5000	6000	7000
120	1000	2000	3000	4000	5000	6000	7000	8000
150	1250	2500	3500	4500	6000	7500	8500	9500

Za prostorije dobro zaštićene potrebno je do 30 % manje, a za prostorije jako izložene potrebno je 20 do 30 % više.

Za normalne stambene i uredske zgrade može se grubo približno računati s ovim snagama po m³ prostorije (u vatima):

Prostorija je	Sobe za stanovanje i uredske sobe	Spavaonice	Kuhinje	Kupaonice
zaklonjena	50	30	30	90
nezaklonjena	70	40	40	120

Podatke za tačan proračun topline potrebne za grijanje prostorija vidi npr. u DIN 4701/1.59: Regeln für die Berechnung des Wärmebedarfes von Gebäuden (Pravila za proračun topline potrebne za grijanje zgrada).

e) Grijanje prostorija, davanje topline po m² grijaće površine

Ogrievno tijelo	kcal/m², h	Ogrjevno tijelo	kcal/m², h
Sobna peć od sivog liva (lijevanog željeza)	700 — 4500	Radijatori s toplom vodom	≈ 450
Sobna peć od kaljeva	200 — 1300	Radijatori s parom	≈ 700

380 Priključne vrijednosti kućanskih aparata*

Aparati	W	Aparati	W
glačala obična (~3 kg)	450—550	grijalice sobne, radijacione	500—1000
glačala s regulacijom	*800—1000*	radijatori sobni	*1000—2000*
glačala krojačka (~5 kg)	~500	»visinska sunca« (živine sijalice za ultravioletno zračenje)	~500
glačala krojačka (8-10 kg)	700—800	»visinska sunca« sa grijanjem	800—1000
glačala za put (~1,2 kg)	~200	»Solux«-sijalice	300—500
strojevi za glačanje	~3000	usisači prašine	140—600
termofori	~60	čistila za parket	250—300
sušila kose	450—600	ventilatori stolni	25—85
grijaća ronila	600—1000	ventilatori zidni obični	20—130
kuhala za kavu	400—600	radio-prijemnici s jednim krugom	~30
kuhala za vodu (0,5—2 l)	~600	radio-prijemnici super	50—100
kuhala za vodu, ekspres	~1200	televizijski prijemnici	120—180
kuhala s 1 grijaćom pločom	600—1200	strojevi za pranje rublja bez grijanja	~300
kuhala s 2 grijaće ploče	2000—3000	strojevi za pranje rublja s električkim grijanjem	2000—6000
tignjevi (tave)	~700	centrifuge za sušenje rublja	100—200
pržila za kruh	~500	aparati za brijanje	5—15
pećnice (pečenjare) male	~750		
pećnice s regulacijom	1200—2000		
štednjaci sa tri grijaće ploče i pećnicom	5000—8000		
grijalice sobne, obične	1000—3000		

381 Potrošak električke energije za kuhanje u kućanstvu

uz vrlo racionalnu potrošnju, uključivši grijanje vode za pranje suđa)

Broj osoba	2	3	4	5	6
Potrošak kWh/mjesec	50 — 70	62 — 87	72 — 100	80 — 112	90 — 125

382 Grijači vode i priprema tople vode

a) *Grijači vode s toplinskom akumulacijom***, potrošak električne energije u kWh

Dnevni potrošak tople vode u litrama →	0	10	20	30	50	80
Grijač 10 l/2 kW, zagrijavanje na 50°C za 16 min	0,5	1,3	2,2	2,7	4,5	—
Grijač 30 l/0,4 kW „ „ 85°C za 8 sati	1,2	1,8	2,3	2,6	—	—
Grijač 50 l/0,6 kW „ „ 85°C za 8 sati	1,7	2,4	3,0	3,6	4,2	—
Grijač 80 l/1 kW „ „ 85°C za 8 sati	2,3	3,0	3,7	4,4	5,7	7,2

Vidi se da za mali potrošak vode nije povoljno imati veliki bojler!

* Opće tehničke propise za elektrotermičke naprave za domaćinstvo i slične svrhe vidi u JUS N.M1.010/XI-1961, za štednjake i sl. N.M1.020/XI-1961, za lako zamjenljive grijaće ploče N.M1.021/XI-1961, za naprave za grijanje prostorija i slične svrhe N.M1.110/VII-1962.

** Standardizirani su u JUS N.M1.100/VIII-1963. Uobičajeno je da se ove naprave nazivaju »bojleri«. Međutim prema JUS bojleri su grijači vode bez toplinske akumulacije čiji rezervoari nisu termički izolirani.

b) Visokotlačni i niskotlačni grijači vode s toplinskom izolacijom prema JUS N.M1.100/VIII-1963

Visokotlačni grijači su oni u kojima veza između vode u grijaču i vode u vodovodnoj mreži nije prekinuta nikakvim zapornim organom. Stoga je voda u grijaču pod tlakom vodovodne mreže. Slavina se nalazi na ispustu iz grijača. Osim termostata moraju imati sigurnosni ventil i moraju biti ispitani razmjerno visokim tlakom (12 at).

Niskotlačni grijači rade na principu preljeva. Slavina se nalazi na ulazu vode u grijač, a istječe pod slobodnim padom preko preljeva. U grijaču nema pretlaka. Kad se slavina na ulazu otvori, voda istječe iz grijača, a kad se zatvori, ona još kraće vrijeme malo kaplje (preko preljeva). Mana: Nisu mogući daleki priključci kao na visokotlačni grijač. Prednost: Potpuna pogonska sigurnost (nema pretlaka). Ispitni tlak 3 at.

c) Izvedba nekih grijača s toplinskom akumulacijom

Elektron Samobor[1]): EB 10 — 10 lit.— 1,5 kW — 0,6 sati;* EB 30 — 30 lit.— 1,5 kW — 1,8 sati; EB 50 — 50 lit.— 1,5 (3) kW — 3,0 (1,5) sati; EB 90 — 90 lit.— 1,5 (3) kW — 5,5 (2,7) sati; EB 120 — 120 lit.— 3 kW — 3,7 sati. EB 10 je niskotlačni grijač, svi ostali su visokotlačni grijači (ispitani tlakom 12 at), ali se mogu priključiti i kao niskotlačni.

Maris-Tiki Ljubljana: GVT i GVT 8/II — 8 lit.— 0,8 kW — 45 min; GVM 30 i GVML 30** — 30 lit.— 1,2 (0,8) kW — 105 (160) min; GVM 50 i GVML 50 — 50 lit.— 1,5 (1) kW — 140 (210) min; GVM 80 i GVML 80 — 80 lit. — 1,5 (1,25) kW — 225 (270) min; GVTL 300 — 300 lit. — — 9 (4,5) kW — 140 (285) min. Grijači su ispitani za 12 at, a mogu se priključiti kao visokotlačni ili kao niskotlačni.

AEG proizvodi male niskotlačne grijače za kuhinju od 5 i *10 lit.* sa grijalom od 2 kW za brzo zagrijavanje vode (8 min za grijač od 5 lit., 16 min za grijač od 10 lit. na 50° C) te grijač od 10 lit. — 1,2 ili 2 kW i 15 lit. — 3 kW za tuš. Nadalje proizvodi niskotlačne i visokotlačne kupaoničke grijače od 30, 50 i 80 lit. sa grijalom za osamsatno zagrijavanje (1 kW za 80 lit.) ili za brzo zagrijavanje 4,5 odn 6 kW (zagrijavanje 105 odn. 85 min. za 80 lit.).

Siemens proizvodi slične serije kao AEG.

Ignis (Varese - Italija) proizvodi visokotlačne grijače (ispitni tlak 14 at): 18 lit. — 0,8 kW; 30 lit. — 0,5 kW; 50 lit. — 0,8 kW; 80 lit. — 1 kW; 100 lit. — 1,2 kW; 120 lit. — 1,25 kW; 150 lit. — 1,6 kW; 200 lit. — 2 × 1,25 kW.

d) Protočni grijači vode (vidi JUS N.M1.090/VIII - 1963)

Zagrijavaju vodu za vrijeme protjecanja kroz grijač. Za to su potrebne vrlo velike snage. Grijač 12 kW daje 6 l/min od 41° C ili 4 l/min od 55° C. Grijač 18 kW daje 9 l/min od 41° C ili 6 l/min od 55° C.

e) Količine tople vode koje se dobiju miješanjem vode iz grijača i vode iz vodovoda (približne vrijednosti)

10 litara vode iz grijača zagrijane na 85° C daje:
20 litara vode od 50° C za potrebe kuhinje,
30 litara vode od 35° C za kadu za kupanje.

Za zagrijavanje te vode treba otprilike 1 kWh.

---

1) Bivše poduzeće Elektron Samobor spojilo se s poduzećima Kontakt Zagreb i Goran Zagreb u jedno poduzeće pod imenom Kontakt Zagreb tako da ove grijače sada proizvodi poduzeće Kontakt Zagreb, pogon Elektron Samobor.

* Prvo tip grijača drugo zapremina, treće priključna snaga, četvrto vrijeme zagrijavanja.

** Tipovi GVM za vertikalnu montažu, tipovi GVML za horizontalnu montažu.

f) Spremanje tople vode u kuhinji
(Približne srednje vrijednosti)

Broj osoba kućanstva	2	3	4	5	6	7	8	
Potrebna količina tople vode 50° C	16	20	24	28	32	36	40	l/dan
Potrebna količina vode iz grijača 85° C	8	10	12	14	16	18	20	l/dan
Potrošak električke energije	0,8	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0	kWh/dan

g) Spremanje tople vode za kupanje

Veličina kade	Mjere kade (približno)	Potrebna količina vode 37° C (približno)	Potrebna količina vode iz grijača 75° C (približno)	Potrošak električne energije (približno)
	cm	lit.	lit.	kWh
velika kada	200×80×50	240	88	8,8
srednja kada	180×75×45	180	72	6,5
mala kada	170×75×45	150	60	5,5
vrlo mala kada	165×65×45	125	50	4,5
tuš	—	30 — 45	10 — 15	1,0 — 1,5

U tablici je uzeto u obzir da se oko 10% topline gubi kad se puni kada.

383

Električni hladnjaci (frižideri)

Kompresorski hladnjaci*: Izrađuju se za kućanstvo u Evropi sa zapreminom 100 do 300 litara, u Americi sve do 600 l. Za hladnjak od 100 l iznosi priključna vrijednost oko 90 W, a prosječni dnevni potrošak u ljetnim mjesecima oko 0,6 kWh/24 h; za hladnjak 260 l iznosi priključna vrijednost oko 170 W, a potrošak oko 0,8 kWh/24 h. Kompresorski hladnjaci su skuplji od apsorpcionih, ali im je potrošak električne energije znatno manji.

Apsorpcioni hladnjaci**: Izrađuju se obično sa zapreminom do 100 l. Priključna vrijednost npr. hladnjaka HIMO KT-70 S, 70 lit., iznosi 160 W. Kod nas je el. energija vrlo jeftina pa veći potrošak ovih hladnjaka nije velika mana.

Kao grube srednje vrijednosti potroška mogu se uzeti vrijednosti iz ovog pregleda:

Sistem hladnjaka	Zapremina litara	Potrošak (godišnji prosjek) kWh/mjesec
Kompresorski hladnjaci	100 do 200	20 do 30
Apsorpcioni hladnjaci	60 do 80	40 do 50

* U kompresorskim hladnjacima kompresor gonjen od elektromotora stlačuje rashladno sredstvo, ispareno iz isparivača, na visoki tlak. Ono se zatim hladi okolnim zrakom i pretvara u tekućinu pa se onda preko redukcionog ventila privodi opet isparivaču koji je smješten u unutrašnjosti kompresora. Ono opet isparuje te za to isparivanje oduzima hladnjaku toplinu, tj. ono ga hladi.

** Ispareno rashladno sredstvo apsorbira se u vodi ili kalcijevu kloridu, a onda se električkim zagrijavanjem opet oslobađa i pretvara u tekućinu.

Za dobivanje elektrokemijskih i elektrometalurških proizvoda (kWh/kg)

aluminij	20—25	grafit (u zrnu)	3—4,5
bakar iz rude	2—2,5	„ (mastan)	8—12
„ iz otpadaka bronce	~0,6	„ (elektrode)	6—12
buna	~40	kadmij	1,5—2,5
čelik, hladno punjenje	0,55—1	kalcij	50—60
„ vruće punjenje sirovim željezom	0,35—0,65	kalcijev cijanamid	~3,2
„ vruće punjenje frišovanim željezom	0,15—0,4	kalcijev karbid (85 %)	3—4
cink	3,2—3,8	karborund SiC	8—10
dušična kiselina (kalkul. na 100 % HNO_3)	11,5—17,5	kaustična soda NaOH	2,9—3,6
ferofosfor	5—6,5	kisik	~10
ferokrom (60—70 %)	6—11	klor	3,3—4
feromangan (80 %)	3,5—7,5	kositar	1,8—2
feromolibden (70 %)	10—15	magnezij	18—20
feronikalj (90 %)	1,1—1,2	mangan	12,5—15
ferosilicij (50 %)	5—7	natrij	15—18
„ (80 — 90 %)	12—16	staklo	1—5
ferotitan	6—8	ugljični bisulfid	1—1,5
ferovanadij (30 %)	7—8	vodik (iz vode)	80—100
ferovolfram (80 %)	5—10	vodikov dioksid H_2O_2	3—10
fosfor	10—12	željezo sirovo (elektrotermičko)	2—3
		željezo lijevano (sintetičko)	0,8—1,2

Za rafinaciju (kWh/t)

bakra	280—350	srebra, postupak Moebius	~800
kositra	200	srebra, postupak Thum	~1100
niklja	~1500	zlata	~300
olova	90—110		

Za taljenje (kWh/t)

aluminija	400—600	magnezija	400—700
bakra	250—350	mjedi	200—250
bronce	250—350	niklja	500—700
cinka	120—150	novog srebra	250—350
čelika	600—900	olova	40— 60
kositra	30—40	sivog lijeva	600—800
ležajne kovine	70—100	srebra	200—250

Za zagrijavanje (kWh/t)

aluminija	160—200	čelika	250—500
bakra i njegovih slitina	110—150	zagrijavanje zakovica	150
cinka	70—100		

Potrošak električke energije (nastavak)

Za toplinsku obradbu (kWh/t)

Žarenje i očvršćivanje (oplemenjivanje)		kaljenje čelika	
aluminija	150—250	u neprekinutom toku	150—250
bakra i njegovih legura	80—150	u komornim pećima	250—400
čelika	150—250	cementitno	600—1200
lima u sanducima	340—360	napuštanje čelika	70—150
žice	175—200	temprovanje sivog lijeva	350—800
cementiranje u okretnim pećima	~1100		

Za pečenje (kWh/t)

porculana	2000—4000	podnih pločica	500—1000
poluporculana	1300—2000	kaljeva	500—1000
zidnih pločica	600—1000	sadre	160—180

Za emajliranje (kWh/t)

limenih dijelova	300—500	lijevanog željeza	250—400
čeličnog lima i čel ploča	200—300	sanitarnog lijeva (trostruko pečenje)	1100—1300

Za električko sušenje (kWh)

trave po toni isparene vode		rublja, po kg suhog rublja	1,0—1,1
bez rekuperacije	870—1040	laka, po toni metala	50—200
sa rekuperacijom	640—800	vlaknatih tvari, po toni sadržaja vode	750—900
žita (uz krajnju vlagu 14%), po toni	20—30	drveta, po m^3	70—200
cigle u ciglanama, po 1000 komada	~720	drveta, dielektričko sušenje, po m^3	250—350
pijeska u ljevaonicama, po toni	~250		

U raznim privrednim granama

Rudarstvo (po toni ugljena)		**Građevna industrija**	
ugljenici kamenog ugljena	30—50	portland cement, po toni	75—120
ugljenici mrkog ugljena i lignita	3—15	ciglane, po 1000 kom cigala	20—50
ugljenici lignita, dnevni kop	0,5—1,5	vapnare, po toni živog vapna	6—16
koksane (na bazi kamenog ugljena), po toni koksa	11—16	**Industrija celuloze, drvenjače i papira** (po toni)	
Crna metalurgija (po toni)		proizvodnja celuloze	250—350
dobivanje čelika SM-postupkom	25—35	proizvodnja drvenjače	1000-1500
dobivanje čelika Thomasovim postupkom	15—25	proizvodnja rotacionog papira (uključivši proizvodnju drvenjače)	1200-1700
čeličana i valjaonica kombinirana	120—180	isto, ali bez proizvodnje drvenjače	300—500
sirovo željezo iz visoke peći	40—80	proizvodnja kartona	300—400
		proizvodnja slamnog papira	700—1000

Potrošak električke energije (nastavak)

U raznim privrednim granama (nastavak) (kWh)

Industrija celuloze, drvenjače i papira (po toni) [nastavak]	
proizvodnja celuloznog papira (ne uključivši proizvodnju celuloze)	700—1500
Razno	
pilane, po toni oblovine	20—56
proizvodnja stakla, po toni	~100
proizvodnja stakla u pločama, po toni	20—30
tvornice cipela, po 100 pari cipela	10—12
pranje rublja u strojevima s el. grijanjem, po kg suhog rublja	~4,6
Prehrambena industrija i obrt	
mlinovi, po toni	50—60
pekare s elektropećima s direktnim grijanjem, po kg kruha	0,3—0,35
pekare s elektropećima s akumulacijom, po kg kruha	0,4—0,5
preradba mesa, mehanička energija po kg prerađenog mesa	0,07—0,1
kuhanje kobasica, pri prvom punjenju kotla, po kg kobasica	~0,25
kuhanje kobasica, pri svakom daljnjem punjenju kotla, po kg kobasica	~0,10
Zagrijavanje	
vodnih kupki po t i 1°	1,2—2
uljnih kupki po t i 1°	0,5—1
zraka po m^3 i 1°	$3,9\cdot10^{-4}$
prostorija po m^3 i god.	30—70
prostorija po m^3 i h	0,01
prostorija po m^3, h i 1° temperaturne razlike	$\sim6,7\cdot10^{-4}$
Klimatizacija (po 1000 m^3 zraka)	
industrijske prostorije	~0,25
uredske prostorije	~0,5
bolnice	0,8—1,0

Tiganjske peći visoke i srednje frekvencije **385a**

a) Snaga generatora i frekvencija peći za čelik

Kapacitet peći kg	5	10	25	50	100	250	500	1000	2000	6000
Snaga generatora kW	10	20	33	66	100	200	310	520	1100	2000
Frekvencija kHz	400	400	10	10	2	2	0,5	0,5	0,5	0,5

b) Približne vrijednosti za potrošak električke energije

Taljenje čelika*	500 do 550 kWh/t	Aluminij	520 kWh/t
Bakar	450 „	Nikal	650 „
Crveni liv**	350 „	Bakar-nikal	650 „

* Za peći od 1 tone naviše.
** 85% C, 5% Sn, 5% Pb.

385 b

Niskofrekventne indukcione peći

a) Za bakar i njegove slitine

	Jedinica	Kapacitet peći u kg				
		300	600	1000	1500	2000
Količina tekuće osnove	kg	150	250	350	400	500
Priključna snaga	kW	65	125	200	250	350
	kVA	80	160	250	310	440
Vrijeme taljenja jednog punjenja:						
bakar	min	95	95	95	105	105
mjed 85 % Cu	„	75	75	75	85	85
mjed 72 % Cu	„	65	65	65	75	75
mjed 63 % Cu	„	60	60	60	70	70
bakar — nikalj	„	105	105	105	115	115
Potrošak elektr. energije uključivši potrošak ventilatora:						
bakar	kWh/t	330	320	315	310	305
mjed 85 % Cu	„	265	255	245	235	230
mjed 72 % Cu	„	220	215	205	195	190
mjed 63 % Cu	„	210	205	195	185	180
bakar — nikalj	„	365	355	345	335	330
Potrošak u praznom hodu	kWh/h	12	18	22	26	30

b) Za aluminij i njegove slitine

	Jedinica	Kapacitet peći u kg*				
		100	200	500	1000	2000
Količina tekuće osnove	kg	50	100	250	400	500
Priključna snaga	kW	40	60	100	160	200
	kVA	50	75	125	200	250
Vrijeme taljenja jednog punjenja	h	1,5	2	2,5	3	4
Potrošak elektr. energije uključivši potrošak ventilatora	kWh/t	530	495	465	445	400
Potrošak u praznom hodu	kWh/h	16	20	27	38	51

Prema članku: F. Mlakar, Niskofrekventne indukcione peći, El. vesnik, 1950, str. 75.

* Kapacitet peći ne uključuje tekuću osnovu.

Proizvodnja elektročelika

386

a) U trofaznim lučnim pećima (Heroult, Fiat i dr.)

Kapacitet peći		1	2	4	6	10	tona
Hladno, kruto punjenje	snaga transformatora	400	800	1400	1900	2800	kVA
	napon peći	100	115	140	155	175	V
	potrošak energije	850	800	700	670	600	kWh/t
Punjenje rastaljenim frišovanim željezom	potrebna snaga	200	320	500	650	920	kW
	napon peći	90	95	105	115	120	V
	potrošak energije	400	360	300	250	200	kWh/t
Punjenje rastaljenim sirovim željezom	potrošak energije	650	600	500	450	400	kWh/t

b) U modernim trofaznim lučnim pećima velike snage

Kapacitet peći	1	2	4	6	10	20	tona
Snaga transformatora za hladno punjenje	600	800	1400	2200	3500	6500	kVA
Potrošak elektr. energije pri hladnom punjenju	575	550	535	525	500	475	kWh/t

Kao srednje vrijednosti potroška elektr. energije pri proizvodnji 1 tone običnog elektročelika mogu se uzeti:

za taljenje	450 — 500	kWh/t
za frišovanje	150 — 200	„
za rafiniranje	100 — 150	„
Ukupno	700 — 850	kWh/t

Za kvalitetni elektročelik potrošak energije je oko 20 % veći.

ENERGETIKA

387 Proizvodnja električne energije u SFRJ

Republika	Proizvodnja električne energije u GWh (milijunima kWh) u godini								
	1939.	1946.	1950.	1954.	1958.	1960.	1961.	1962.	1963.
Srbija	275	323	602	827	1812	2210	2440	2830	3321
hidro	19	13	16	38	651	1006	843	1039	1066
termo	256	310	586	789	1161	1204	1597	1791	2255
Hrvatska	412	274	556	810	1167	1671	1555	2329	2999
hidro	242	130	326	456	669	1197	1103	1903	2224
termo	170	144	230	354	498	474	452	426	776
Slovenija	350	440	952	1299	2517	2655	3193	3237	3469
hidro	257	288	770	1081	1739	2037	1959	1942	2107
termo	93	152	182	218	778	618	1234	1295	1361
B i H	121	103	241	398	1500	1837	1942	1972	2370
hidro	36	32	96	167	979	1273	1012	1129	1319
termo	85	71	145	231	521	564	930	843	1051
Makedonija	14	19	52	97	319	413	450	419	461
hidro	12	15	25	56	233	341	410	361	404
termo	2	4	27	41	86	72	40	58	57
Crna Gora	0,9	1,1	5,6	19,8	41,3	142	344	488	915
hidro	0,3	0,3	1,0	6,6	29,6	130	331	477	909
termo	0,6	0,8	4,6	13,2	11,7	12	13	11	6
SFRJ	1173	1160	2409	3451	7356	8929	9924	11275	13535
hidro	566	478	1234	1805	4300	5985	5658	6851	8028
termo	607	682	1175	1646	3056	2944	4266	4424	5507
Javne elektrane				2755	6420	7844	8854	10217	12410
Industrijske „				696	936	1085	1070	1058	1125

Podaci za gornju tablicu za god. 1939. do 1961. uzeti su iz »Statističkog godišnjaka Elektroprivrede FNRJ za 1961. god.«, a za 1962. godinu iz publikacije Saveznog zavoda za statistiku »Industrija 1962«. Podjela na javne i industrijske elektrane uzeta je iz »Statističkog godišnjaka FNRJ 1962« s time da je proizvodnja javnih elektrana u 1954. god. ispravljena od 2744 GWh na 2755 GWh (prema podacima Elektroprivrede). Podaci za 1963. dobiveni su od Saveznog zavoda za statistiku.

O podjeli na javne i industrijske elektrane prije 1951. godine nema podataka.

Proizvodnja električne energije u SFRJ po mjesecima

u GWh (gigavatsatima = milijunima kWh)*

Godina		I	II	III	IV	V	VI	VII	XIII	IX	X	XI	XII
1962.	ukupno	956	866	989	907	899	871	861	884	915	931	1021	1176
	hidro	556	490	705	727	721	534	485	455	440	385	626	730
	termo	400	376	284	180	178	337	376	429	475	546	395	446
1963.	ukupno	1154	1070	1187	1099	1079	1051	1059	1069	1074	1196	1160	1337
	hidro	749	616	770	806	807	729	529	493	591	598	592	748
	termo	405	454	417	293	272	322	530	576	483	598	568	589

Indeksi proizvodnje

Proizvodnja u godini 1950. = 100

Godina	SFRJ ukupno	SFRJ hidro	SFRJ termo	Srbija	Hrvatska	Slovenija	B i H	Makedonija	Crna Gora
1939	49	31	52	46	74	37	50	27	16
1950	100	100	100	100	100	100	100	100	100
1962	468	555	377	470	420	340	820	805	8720
1963	561	650	469	552	539	365	984	886	16200

Lančani indeksi ukupne proizvodnje

	1946/1945	1947/1946	1948/1947	1949/1948	1950/1949	1951/1950	1952/1951	1953/1952	1954/1953
SFJR	142	125	142	107	109	105	106	111	115

	1955/1954	1956/1955	1957/1956	1958/1957	1959/1958	1960/1959	1961/1960	1962/1961	1963/1962
SFRJ	127	115	128	118	110	110	111	114	120

Petogodišnji porast proizvodnje električne energije u SFRJ iznosio je u razdoblju od 1948. do 1952. 31% od 1952. do 1957. 132%, a od 1957. do 1962. 81%.

Maksimalno i minimalno opterećenje elektrana

karakterističnog dana u mjesecu u godini 1962.**

Mjesec	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Maks. MW	1597	1573	1664	1664	1549	1518	1480	1546	1609	1628	1885	1906

Mjesec	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Min. MW	502	631	632	572	583	607	611	617	621	590	589	780

Specifična proizvodnja i potrošnja električne energije po stanovniku u 1961. godini

	SFRJ	Srbija	Hrvatska	Slovenija	B i H	Makedonija	Crna Gora
Proizvodnja	598	366	555	2012	585	292	1008
Potrošnja	484	322	528	1392	439	360	372
Od toga za kućanstvo	98	80	135	217	49	67	62

* Prema podacima »Indeksa«, mjesečnika Saveznog zavoda za statistiku.
** Prema »Statističkom godišnjaku elektroprivrede SFRJ za 1962. godinu«.

388 a Bilanca proizvodnje i potrošnje elektroenergije u SFRJ u 1962. (u GWh)*

Izvori odnosno potrošači	SFRJ	Srbija	Hrv.	Slov.	B i H	Maked.	C. G.
Proizvodnja na generatoru	11 271	2825	2324	3207	1972	454	489
Vlastita potrošnja elektrana	451	184	62	112	81	8	4
Proizvodnja na pragu elektrana	10 820	2641	2262	3095	1891	446	485
Uvoz	83	33	1	41	—	8	—
Primljeno od drugih republika	—	527	878	118	421	149	57
Predano drugim republikama	—	183	476	594	574	9	313
Gubici prijenosa i razvoda	1 553	471	408	300	254	71	49
Raspoloživo za potrošnju	9350	2547	2256	2360	1484	523	180
Izvoz	225	58	41	120	—	7	—
Elektrokemija i elektrometalurgija							
Karbid	311	—	96	127	—	87	—
Aluminij	559	—	190	369	—	—	—
Ostala elektrokemija	421	29	87	89	137	80	—
Visoke peći	293	27	13	81	173	—	—
Elektrolize	104	90	2	—	13	—	—
Ferolegure	258	—	110	15	74	60	—
Ostala potrošnja na veliko							
Elektroželjeznička vuča	61	—	38	23	—	—	—
Melioracije	18	9	3	0	3	4	—
Elektrotoplina u metalurgiji i prehrambenoj industriji	358	74	41	126	44	7	61
Ugljenici	375	81	79	92	122	—	1
Cementare	239	57	118	42	0	22	—
Ostala industrija i građevinarstvo	3297	1134	555	759	661	125	64
Javni vodovod	151	54	61	21	7	3	5
Javna rasvjeta	109	35	40	16	12	5	2
Tramvaji i trolejbusi	73	35	24	5	10	—	—
Potrošnja na malo							
Kućanstva (rasvjeta i aparati)	1833	623	569	349	165	96	30
Poslovne prostorije	289	101	79	56	36	11	7
Društvene prostorije	57	22	16	8	7	3	1
Motori i aparati ostalih potrošača	294	107	87	60	21	13	5
Poljoprivredni motori	25	12	7	4	1	1	0

388 b Razvoj potrošnje elektroenergije u SFRJ 1951. do 1962. (u GWh)*

	1951.	1956.	1958.	1960.	1962.	Indeks 1962/1951
Raspoloživo za potrošnju	2212	4208	6047	7453	9350	422
Izvoz	34	69	175	123	225	658
Kućanstva (rasvjeta i aparati)	259	643	1142	1271	1834	708
Poslovne i društvene prostorije	83	185	200	259	346	417
Motori i aparati ostalih potrošača	111	128	194	266	336	303
Javna rasvjeta	19	44	62	79	109	562
Javni vodovod	67	82	109	121	151	225
El. vuča (željezn., tramvaji, trolejbusi)	41	60	70	90	134	327
Industrija i građevinarstvo	1597	2997	4094	5245	6215	389
Od toga: el. kemija i el. metalurgija	431	817	1344	1683	1947	452

* Prema »Indeksu« br. 5/1963. Detaljniju strukturu potrošnje u industriji vidi u »Indeksu« br. 4/1963 kao i u publikaciji Saveznog zavoda za statistiku »Industrija 1962«.

389 Proizvodnja ugljena, sirove nafte i zemnog plina u SFRJ*

	Jedinica	Godina							
		1939.	1946.	1950.	1954.	1958.	1960.	1962.	1963.
Ugljen ukupno									
SFRJ	10^3tona	7032	6652	12819	13663	18986	22713	24694	27422
Srbija	„	1774	1676	3394	3274	4934	5849	7358	
Hrvatska	„	1633	1168	2056	1991	2478	2530	2246	
Slovenija	„	1853	2044	2830	3135	4082	4887	5190	
B i H	„	1766	1747	4501	5216	7286	9150	9588	
Makedonija	„	5	17	22	12	11	10	10	
Crna Gora	„	2	0	17	36	195	287	303	
Kameni ugljen	„	1410	757	1154	988	1208	1283	1187	1286
Mrki ugljen	„	4312	3823	7204	7100	8377	9629	9319	9945
Lignit	„	1310	2072	4461	5575	9401	11801	14188	16191
Koks koksara	„	—	—	—	404	1030	1083	1125	1107
Koks plinara	„	35	30	33	24	26	20	18	
Sirova nafta	„	1	29	110	216	462	944	1525	1611
Zemni plin	10^6m^3	3	9	14	28	46	53	95	101

390 Proizvodnja jugoslavenske elektroindustrije*

Proizvod	Jedinica	Godina					
		1939.	1946.	1954.	1958.	1962.	1963.
Rotacioni strojevi	MW	4,3	8,4	232	350,5	588	644
	tona	44	114	3412	4903	8707	9297
Energetski transformatori	MVA	0,0	3,8	557,4	1335,4	1905	2301
	tona	1	33	2452	5838	9313	10491
Olovni kabeli	tona	65	1	1134	25502	45172	53722
Ostali izolirani vodiči	tona	572	1467	2895	7928	16702	18735
Akumulatori	tona	115	272	1678	2666	5361	5937
Brojila	1000 kom.	—	—	91,5	238,1	421,8	464,0
Telefonski aparati	1000 kom.	—	—	47,2	30,6	77,2	87,6
Radio-prijemnici	1000 kom.	—	—	59,3	258,8	289,1	377,2
Televizori	1000 kom.	—	—	—	0,2	68,6	117,0
Sijalice standardne	1000 kom.	2522	1622	5867	11363	15673	21199
Termički aparati	tona	48	8	687	4767	15661	20151
Hladnjaci	hl	—	—	—	9115	67879	121000

Proizvodnja rotacionih strojeva iznosila je 1960. god. 610 MW, a 1961. god. 704 MW. Proizvodnja energetskih transformatora iznosila je 1960. god. 2082 MVA, a 1961. god. 2236 MVA.

Godine 1963. proizvedeno je velikih rotacionih strojeva 740 kom., 250,5 MW, 2802 tone; srednjih rotacionih strojeva 40 933 kom., 295,7 MW, 4394 tone; malih rotacionih strojeva 580 912 kom., 98,2 MW, 2101 tonu; mjernih transformatora 23752 kom., 329 tona.

Indeksi proizvodnje jugoslavenske elektroindustrije

Godina	1939.	1946.	1954.	1955.	1956.	1957.	1958.	1959.	1960.	1961.	1962.	1963.
Indeks E	12	18	155	198	229	310	378	464	576	645	725	913
Indeks U	61	48	126	147	162	189	210	238	274	294	314	363

E — elektroindustrija, U — ukupna industrijska proizvodnja, 1952. god. = 100%.

* *Prema statističkim godišnjacima SFRJ i časopisu »Indeks«.*

391 **Pregled važnijih**

Stanje

Red. broj	Naziv	Vodotok	Republika	Prvi pogon	Tip elektrane[1])	Tip turbina[2])	Maks. snaga[3]) MW
1	Dravograd	Drava	Sl.	1943.	P	K	21
2	Vuzenica			1954.	P	K	42
3	Vuhred			1957.	P	K	60
4	Ožbalt			1961.	P	K	60
5	Fala[5])			1918.	P	F	34,8
6	Mariborski otok			1948.	P	K	50,5
7	Srednja Drava[6])			Projekt	K	K	125
8	Moste	Sava	Sl.	1952.	D	F	15,8
9	Medvode			1953.	P	K	16,4
10	Trnovo	Soča	Sl.	Projekt			80
11	Doblar			1939.	D	F	28,5
12	Plave			1940.	D	K	15
13	Tesla } Vinodol	Ličanka	Hrv.	1952.	D	P	75,2
14	Fužine } Vinodol			1958.	P	F	3,9
15	Rijeka[7])	Rječina		U grad.	D	F	36
16	Senj	Lika-Gacka		U grad.	D	F	203
17	Gojak	Dobra-Mrežnica	Hrv.	1958.	D	F	48
18	Miljacka	Krka	Hrv.	1906/54	D	F	20
19	Jaruga I			1904/37	D	F	5,6
20	Jaruga II			Projekt	D	F	41,6
21	Orlovac	Cetina	Hrv.	Projekt	D	F	237
22	Peruća[8])			1959.	P	F	40
23	Split			1961.	D	F	432
24	Kraljevac			1913.	P	F	67
25	Slapovi na Uni	Una	B i H	1954.	P	K	6,2
26	Šipovo	Pliva	B i H	Projekt	P	F	50
27	Jajce I	Pliva		1957.	D	F	45
28	Jajce II	Vrbas		1954.	D	F	27
29	Bočac	Vrbas		Projekt	D	F	68
30	Rama	Neretva	B i H	Projekt	D	F	160
31	Jablanica			1955.	D	F	144
32	Salakovac			Projekt	P	K	138

* Podloge za ovu tablicu jesu: a) Elektroprivreda Jugoslavije, Beograd 1962. — b) Statistički godišnjak elektroprivrede SFRJ za 1962. god. — c) B. Markovčić, Pregled elektrana Jugoslavije, rad Instituta za elektroprivredu Zagreb, 1958. —

hidroelektrana u SFRJ*

1. V 1964.

Red. broj	Broj generatora sada	Broj generatora konačno	Jedinična snaga generatora MVA	Protoka instalirana m³/s	Protoka srednja m³/s	Bruto pad m	Korisna akumulacija hm³	Korisna akumulacija MWh	Prosječna proizvodn.[4]) GWh/god.
1	3	3	10	309	288	8,3	13,3	245	150
2	3	3	24	411	304	13,7	3,6	110	255
3	3	3	25	411	310	17,4	5,0	190	330
4	3	3	25	411	313	17,4	4,0	150	330
5	5 2	8	5,2 8,7		316	14,6	0,6	18	220
6	3	3	24		320	14,3	2,2	69	270
7	—	2	78			33			681
8	3	4	7,5	38	16	67,5	5,0	750	60
9	2	2	12	116	57	18,9	2,7	110	95
10	—	2	50	60	32	160		222 000	300
11	3	3	15	90	93	47	12	1 200	150
12	2	2	10	120	97	29	5	310	85
13	3	3	35	15	3,8	658	43 (13–14)	65 000	183
14	1	1	5	10		54			7
15	—	2	23	20	13	226	12	5 600	140
16	—	3	80	60	39,2	434	102	95 000	1045
17	3	3	20	50		133,5	3,7	1 000	184
18	3 1	3 1	8 6	29,2		106	0,4	90	120
19	2	2	4	28,4	33	25	—	—	40
20	—	3	18	120	48,7	45	3,8	380	175
21	—	3	83	33	70	400	934	800 000	878
22	2	2	25	120	61	57	509	41 000	130
23	2	4	120	200	110	264	509+4	300 000	1770[9])
24	2 2	2 2	16 26	80		109	0,04	8	270
25	4	4	2,2	64		12	—	—	27
26	—	2		80		71	460	72 000	190
27	2	2	30	60	43	98,5	4	870	220
28	3	3	12,5	76	72	48	2,1	220	150
29	—	3		80		51,8	17	1 950	260
30	—	2	90	64	34	325	466	340 000	700
31	6	6	30	180	120	110,5	290	57 000	714
32	—	3		360		45	15,6	1 550	522

d) Članci u stručnim časopisima. — e) Podaci dobiveni od elektroprivrede i industrije.

[1]) do [9]) Vidi primjedbe uz ovu tablicu na strani 664.

Pregled važnijih

Stanje

Red. broj	Naziv	Vodotok	Republika	Prvi pogon	Tip elektrane[1])	Tip turbina[2])	Maks. snaga[3]) MW
33	Bogatići	Željeznica	B i H	1947.	D	F	8
34	Grančarevo } Trebišnjica[10])	Trebišnjica	B i H	U grad.	P	F	160
35	Dubrovnik } Trebišnjica[10])	Trebišnjica	Hrv.	U grad.	D	F	416
36	Kožnjar	Dečan. Bistrica	Srb.	1957.	D	P	6,4
37	Mesiči	Prača	B i H	1950.	D	F	3,1
38	Kokin Brod	Uvac	Srb.	1962.	D	F	20
39	Bistrica	Lim	Srb.	1960.	D	F	102,6
40	Potpeć	Lim	Srb.	Projekt	P	F	51
41	Zvornik	Drina	Srb.	1955.	P	F	88
42	Bajina Bašta	Drina	Srb.	U grad.	P	F	320
43	Buk Bijela	Drina	Srb.	Projekt	P	F	500
44	Raška	Raška	Srb.	1954.	D	F	5,6
45	Međuvršje	Zap. Morava	Srb.	1954.	P	K	7,0
46	Ovčar	Zap. Morava	Srb.	1954.	D	K	6,0
47	Vrla I } Vlasina	Vlasina	Srb.	1955.	D	P	44,8
48	Vrla II } Vlasina	Vrla	Srb.	1955.	D	F	21,4
49	Vrla III } Vlasina	Vrla	Srb.	1957.	D	F	25,6
50	Vrla IV } Vlasina	Vrla	Srb.	1958.	D	F	20,8
51	Đerdap[11])	Dunav	Srb.	Projekt	P	K	1960
52	Sokolovica	Timok	Srb.	1948.	P	K F	3,6
53	Vrben } Mavrovo	Sistem Radika-Mavrovo	Mak.	1959.	D	F	12,8
54	Vrutok } Mavrovo	Sistem Radika-Mavrovo	Mak.	1957.	D	P	150
55	Raven[12]) } Mavrovo	Sistem Radika-Mavrovo	Mak.	1959.	D	F	19,2
56	Matka	Treska	Mak.	1938.	P	F	4,2
57	Globočica	Crni Drim	Mak.	U grad.	D	F	42
58	Špilje	Crni Drim	Mak.	Projekt	P	F	66
59	Tikveš	Crna Reka	Mak.	Projekt	D	F	48
60	Došnica	Bošava	Mak.	1953.	D	P	3,7
61	Tara-Morača	Tara-Morača	C G	Projekt	D	P	432
62	Andrijevo	Morača	C G	Projekt	P	F	105
63	Perućica	Zeta	C G	1960.	D	P	252
64	Glava Zete	Zeta	C G	1955.	D	K	4,5

1) do 12) Vidi primjedbe uz ovu tablicu na strani 664.

hidroelektrana u SFRJ (nastavak)

1. V 1964.

Red. broj	Broj generatora sada	Broj generatora konačno	Jedinična snaga generatora MVA	Protoka instalirana m^3/s	Protoka srednji m^3/s	Bruto pad m	Korisna akumulacija hm^3	Korisna akumulacija MWh	Prosječna proizvodn.[4] GWh/god.
33	2	2	5		6	160	0,45	160	46
34	2	3	60	210		105	1100	250 000	500
35	2	4	120	180		295	1100+9	725 000	2000
36	2	2	4	3,7		230	2,1	11	37
37	2	2	2,2	8	7	52	0,05	5	21
38	2	2	12,5	43		75	224 (38–39)	220 000 (38–39)	45
39	2	2	54	36	13	382			350
40	—	3	20		90	38	25	2 100	182
41	4	4	30	540	355	21	23	1 000	406
42	3	4	87	600	359	70	218	34 000	1430
43	—	4	150	440	170	146	1160	370 000	1365
44	2	2	4	4,5	2,1	162	1,1	400	39
45	1 1	1 1	3,2 5,6	40	26	22	7	330	42
46	1 1	1 1	3,2 5,6	40	26	19	0,54	20	37
47	2	4	16	16	1,9	343	107	80 000	40
48	1	2	14	17	2,6	158	0,13	45	25
49	1	2	16	16,8	4	206,6	0,05	20	44
50	1	2	14	16	4	170,9	0,08	30	35
51	—	12	190	8500	5530	26	200		10 432
52	2 1	2 1	2,2 0,8	40		12	2	50	14
53	2	2	8	8	3,5	198,7	—	—	47
54	2	4	42	32	6,8	557	274 (54–55)	370 000 (54–55)	265
55	2	3	8	32	6,8	72,5			38
56	3	3	1,85	19,5		25	2,7	135	29
57	2	2	26	50	35	108	487	115 000	250
58	—	3	26	90		95	70	15 000	378
59	—	2	26	60		91	240	49 000	215
60	3	3	2,2	2,1		235	—	—	23
61	—	4	120	75	32	725	1210	1 950 000	1830
62	—	3	44	115	35	133	230	68 000	450
63	5	7	40	59,5	25	554	41	50 000	1130
64	2	2	3,2	30	22	21,5	—	—	18

Ostale hidroelektrane raspoložive snage iznad 1 MW

Naziv elektrane / vodotok / godina ulaska u pogon / maks. raspoloživa snaga:

S r b i j a : a) Sokolovica / Timok / 1948. god. / 3,6 MW. — b) Dikanci / Brodska Reka / 1957. god. / 1,1 MW.

H r v a t s k a : a) Ozalj I i II / Kupa / 1906. odn. 1952. god. / 2,5 + 2,5 MW — b) Zeleni Vir / Curak / 1921. i 1962. god. / 1,8 MW — c) Zavrelje / Zavrelje / 1953. god. / 1,6 MW — d) Duga Resa / Mrežnica / 1933. god. / 1,7 MW.

S l o v e n i j a : a) Savica / Savica / 1949. god. / 3,1 MW. — b) Zasip / 5,0 MW. — c) Sava-Kranj / Sava / 1924. god. / 1,6 MW. — d) Hubelj / 1931. god. / 2,1 MW — e) Završnica / Sava / 1914. god. / 2,2 MW.

B o s n a i H e r c e g o v i n a : a) Hrid / Sarajevski vodovod / 1919. god. / 1,35 MW. — Mesići / Prača / 1950. god. / 3,1 MW.

M a k e d o n i j a : a) Pesočani / Pesočanska reka / 1951. god. / 2,2 MW. — b) Sapončica / Sapončica / 1952. god. / 2,16 MW. — c) Tetovo / Pena / 1927. god. / 1,5 MW. — d) Zrnovci / Zrnovka / 1950. god. / 1,24 MW.

C r n a G o r a : — a) Slap Zete / Zeta / 1952. god. / 1,2 MW — b) Kolašin / Rijeka Mušovića / 1950. god. / 1,36 MW.

Primjedbe uz »Pregled važnijih hidroelektrana SFRJ« (str. 660. do 663)

1) D - derivaciona, P - pribranska, K - kanalska elektrana.

2) K - Kaplanova turbina, F - Francisova turbina, P - Peltonova turbina.

3) To je maksimalna snaga koju će elektrana moći davati pri nazivnim uvjetima nakon potpune izgradnje. Tamo gdje još nisu ugrađeni svi agregati (što se vidi iz tablice) sadašnja snaga je manja.

4) To je prosječna godišnja proizvodnja izračunata na osnovu podataka za srednju hidrološku godinu, i to nakon potpune izgradnje elektrane. Tamo gdje još nisu ugrađeni svi agregati sadašnja srednja proizvodnja je manja.

5) U gradnji je osmi agregat od 24 MVA.

6) HE Srednja Drava I locirana je nizvodno od HE Mariborski otok kod Slov. Vasi. Daljnja stepenica je HE Srednja Drava II između Borla i Ormoža s padom od 29 m. inst. snagom od 110 MW i srednjom godišnjom proizvodnjom od 607 GWh. Tri slijedeće stepenice s padom većim od 20 m moguće su na hrvatskom dijelu Drave do ušća Mure.

7) Izgradnja je bila privremeno obustavljena. Sada je opet u gradnji.

8) HE Peruča je pribranska elektrana na akumulaciji HE Split.

9) Sada sa 2 instalirana agregata približno 1465 GWh.

10) HE Grančarevo je pribranska elektrana na akumulaciji HE Dubrovnik.

11) HE Đerdap će se izgraditi u zajednici sa NR Rumunjskom tako da će polovina proizvedene energije pripadati našoj zemlji, a polovina NR Rumunjskoj.

12) HE Raven koristi vodu koja prolazi kroz HE Vrutok tako da je njezina proizvodnja ovisna o radu HE Vrutok.

Primjedbe uz »Pregled važnijih termoelektrana u SFRJ« (str. 665)

Podloge kao uz Pregled važnijih hidroelektrana u SFRJ (str. 660).

1) Godina kad je pušten u pogon prvi od agregata koji su danas još u pogonu. Neke elektrane su izgrađene ranije.

2) K - kondenzaciona elektrana, T - toplana, G - gradska, R - na rudniku ugljena, I - industrijska.

3) To je maks. snaga koju elektrana može davati kad rade svi agregati.

4) Toplana je projektirana s plinskim turbinama koje treba da troše plin iz buduće plinifikacije lignita u Vreocima (kolubarski ugljeni bazen). Do izgradnje ove plinifikacije ona će trošiti loživo ulje. Predviđa se u prvoj izgradnji od 105 MW proizvodnja 500 milijuna kWh i 577 milijardi kcal/godišnje.

5) U 2. etapi još 1 x 125 MW (u gradnji), u 3. etapi (sada) još 1 x 200 MW.

6) Prvi turboagregat 14,8 MW/22,6 MVA naručen je i izrađen još za vrijeme rata i bio je poslije rata montiran najprije u TE Vlaška kraj rudnika Raša u Istri. TE Jertovec služi i kao potporna tačka za proizvodnju jalove energije.

7) Za veću turbinu. 3 kotla za 2 manje turbine jesu za 16 at/400^{0} C.

8) Na ugljenom bazenu Raša. U drugoj etapi još 1 x 100 ili 125 MW.

9) Građena sa 2 kondenzacione turbine s oduzimanjem pare, i to po 100 t/h pri 5 do 9 ata (regulirano) ili 0,8 do 2,5 ata (regulirano). Maksimalne količine oduzimanja od po 100 t/h pare ne mogu nastupiti istovremeno. Odvojeni ciklus mreže toplovodnog grijanja sastoji se zasada od po 2 grijača za grijanje vode na 120^{0} C po 16,5 Gcal/h (po turbinskom bloku) priključenih na oduzimanje 0,8 do 2,5 ata. Kasnije će se u seriju s ovim grijačima dodati i drugi priključeni na oduzimanje 5 do 9 ata, za dogrijavanje vode na 150^{0} C.

10) Sa 2 kond. turbine s oduzimanjem pare, slično kao Topl. Zagreb, vidi 9).

11) U projektu je nova elektrana, u prvoj etapi 1 x 100 MW.

12) Elektrana je planirana za ukupni kapacitet od oko 700 MW od čega je sada u pogonu 2 x 32 MW (1. faza, 1. etapa), u gradnji 1 x 100 MW (1.faza, 2. etapa), u pripremi 1 x 200 MW (2. faza, 1. etapa).

13) Kotlovi, turbine i generatori iz reparacija, godina proizvodnje 1939.

14) Sada u izgradnji. U konačnoj izgradnji ukupno 60 MVA, odn. 4 x 20 MVA.

* Parametri pare za nove turboagregate 100 MW još su u diskusiji.

392

Pregled važnijih termoelektrana u SFRJ

Stanje 1. V 1964.

Mjesto ili naziv	SR	Prvi pogon[1]	Vrst[2]	Maks. snaga[3] MW	Generatori broj × MVA	Parametri pare iz kotla	
						at	°C
Beograd	Srbija	1932.	K/G	28	1×15,5+3×8	35	425
Beograd toplana[4]		U grad.	T/G	105	3×45	[4]	[4]
Kolubara		1957.	K/R	160	1×80+3×40	84	530
Kosovo[5]*		1962.	K/R	65	1×80	92,5	515
Kostolac Mali		1948.	K/R	8	1×10	13	350
Kostolac Veliki		1949.	K/R	41	1×16+3×15	38	450
Loznica		1957.	T/I	30	2×13,1+1×12,5	58	475
Morava		U grad.	K/R	100	1×125	*	*
Novi Sad		1931.	K/G	4,1	1×5,85	13	350
Rtanj		1963.	K/R	12,5	1×16	42	450
Subotica		1931.	K/G	5,2	2,65+3,16+3,5	13	325
Svetozarevo		1955.	T/I	7,4	3,43+8	40	450
Trepča		1930.	T/I	14,5	1,6+2,8+3,7+9,4	18	350
Vreoci		1940.	K/R	6	1×7,5	26	380
Zrenjanin		1953.	T/I	10	4×4,167	50	480
Borovo	Hrvatska	1941.	T/I	6	5,7+2,5	30	425
Jertovec[6]		1954.	K/R	36	1×22,6+2×16	40	450
Jugovinil		1950.	K/I	16,6	12,5+8	42	420
Osijek		1926.	K/G	3,2	1×2,5+2×1,1	30[7]	450[7]
Plomin[8]*		U grad.	K/R	100	1×125	*	*
Rijeka		1929.	K/G	7,2	5,7+3,3	12	350
Sisak (Željezara)		1950.	T/I	6,5	2×4,25	32	425
Vlaška		1946.	K/R	8,0	7,5+4	43	470
Zagreb		1914.	K/G	17,0	3+6,3+20	16	350
Zagreb toplana[9]		1962.	T/G	64	2×40	95	530
Županja		1947.	T/I	6,5	1×6,65+2×2	24	350
Brestanica	Slovenija	1943.	K/R	26	16+15	37	425
Ljubljana		1928.	K/G	2,3	1×4,7	24	380
Ljubljana topl.[10]		U grad.	T/G	64	2×40	95	530
Šoštanj		1956.	K/R	135	94+75	100	515
Trbovlje[11]*		1938.	K/R	56,5	30+25+16	40	425
Velenje		1929.	K/R	7,25	7,5+2×1,25	21	400
Banovići	B i H	1952.	K/R	6,2	6,25+3,125	32	370
Foča		1954.	T/I	3,5	1×5,76	36	450
Kakanj		1956.	K/R	128	4×40	84	530
Lukavac[12]*		1963.	K/R	64	2×40	84	530
Lukavac (soda)		1955.	T/I	6,5	1×9	50	475
Maglaj (papir)		1955.	T/I	7	1×9,7	42	450
Prijedor (celuloza)		1955[13]	T/I	3,2	2×2,86+1,71	40	475
Zenica		1937.	K/G	21,3	2×12+2×3,2	22	400
Madžari	Mak.	1949.	K/G	15,8	12,5+2×3,75	33	425
Skopje (željezara)		U grad.	K/I	30[14]	2×20[14]	64	500
Plevlje	C G	1951.	K/R	2,5	1×3,125	32	425

Primjedbe uz tablicu vidi na strani 664.

393

Instalirana snaga elektrana u SFRJ

(Stanje krajem godine u megavatima)*

Republika	1945. godina			1955. godina			1962. godina		
	hidro	termo	ukupno	hidro	termo	ukupno	hidro	termo	ukupno
Srbija	6	137	143	75	190	265	318	494	812
Hrvatska	97	81	178	179	125	304	505	241	746
Slovenija	90	50	140	245	81	326	393	270	663
B i H	11	40	51	121	78	199	244	219	463
Makedonija	6	4	10	19	22	41	121	20	141
Crna Gora	0,3	1,2	1,5	7,2	5,7	12,9	197	4	201
Jugoslavija	211	313	524	646	502	1148	1779	1247	3026
Od toga raspoloživo	183	253	436	608	451	1059			

394 a

Snaga elektromotora u industriji SFRJ

krajem 1962. godine**

Grana industrije	Snaga MW	Grana industrije	Snaga MW
Industrija ugljena	284	Industrija papira	123
Industrija nafte	29	Tekstilna industrija	170
Crna metalurgija	322	Industrija kože i obuće	44
Obojena metalurgija	214	Industrija gume	32
Industrija nemetala	56	Prehrambena industrija	153
Metalna industrija	325	Štamparije	14
Brodogradilišta	57	Industrija duhana	7
Elektroindustrija	60	Elektroprivreda	132
Kemijska industrija	140	Ostala industrijska poduzeća	17
Industrija građ. materijala	166		
Drvna industrija	147	Ukupno industrija SFRJ	2492

Ukupna snaga ostalih pogonskih strojeva (parni strojevi, vodne turbine, dizelski motori i sl. — sve bez primarnih pokretača, tj. strojeva koji služe za pogon električnih generatora) iznosila je u industriji Jugoslavije 1960. godine 172 MW tako da je ukupna pogonska snaga u industriji iznosila te godine 2492 + 172 = 2664 MW.

394 b

Elektrotermički aparati u industriji SFRJ

sa priključnom snagom većom od 1 kW, krajem 1961. godine***

	Ukupno	Sa priključnom snagom		
		do 50 kW	51 do 600 kW	preko 600 kW
Broj termičkih aparata	18 865	17 763	1002	100
Priključna snaga u MW	440,0	92,2	121,5	226,3

* Za 1945. i 1955. godinu prema publikaciji »Razvoj elektroprivrede Jugoslavije od 1945 do 1955«, izdanje Zajednice jugoslavenske elektroprivrede«, Beograd 1957. Za 1962. godinu »Statistički godišnjak elektroprivrede SFRJ za 1962. godinu«.
** Prema »Indeksu« br. 8/1963.
*** Prema Statističkom godišnjaku SFRJ 1963.

395

Snaga većih transformatorskih stanica u SFRJ

u megavoltamperima, krajem godine*[1])

Republika	220 kV		110 kV		60 i 50 kV		35 kV	30 i 26 kV
	1959.	1962.	1959.	1962.	1959.	1962.	1957.	1957.
Srbija	—	300	469	1094	—	—	293,5	3,9
Hrvatska	—	250	920	862	—	—	27,4	342,0
Slovenija	—	—	441	633	38	38	138,4	17,9
B i H	—	—	260	353	—	—	172,6	—
Makedonija	—	—	81	215	—	—	48,6	—
Crna Gora	—	150	30	50	—	—	15,9	—
SFRJ	—	700	2202	3207	38	38	655,6	363,8

Snaga transformatorskih stanica 30 kV u 1959. godini iznosila je 422 MVA od toga samo u SR Hrvatskoj 418 MVA.

396

Duljina dalekovoda u SFRJ

a) Duljina dalekovoda po pojedinim republikama

u kilometrima geografske duljine, krajem godine*

Republika	220 kV		110 kV		60 i 50 kV		35 kV	30 do 26kV
	1959.	1962.	1959.	1962.	1959.	1962.	1959.	1959.
Srbija	—	633	1664	1986	126	—	3764	—
Hrvatska	50	436	1101	1398	87	5	246	1727
Slovenija	—	—	717	762	40	46	948	72
B i H	—	—	1191	1200	—	—	1416	8
Makedonija	—	—	149	369	—	—	874	—
Crna Gora	—	85	134	325	—	—	471	—
SFRJ	91	1154	4956	6040	253	51		

b) Razvoj dalekovoda u SFRJ

u kilometrima geografske duljine, krajem godine*

Godina	220 kV	110 kV	60 i 50 kV	35	30 do 26 kV
1945	—	338	456	906	577
1948	—	804	456	1694	818
1950	—	1201	502	2972	1112
1952	—	1768	517	4301	1208
1954	—	2577	517	5240	1368
1956	—	3361	451	5929	1514
1957	50	4030	451	6296	1678
1958	91	4627	422	7085	1552
1959	91	4956	253	7719	1807
1960	527	5305	51		
1961	1147	5453	51		
1962	1154	6040	51		

* Prema »Statističkom godišnjaku elektroprivrede SFRJ za 1962. godinu«. Za 1946. i 1950. godinu podaci su uzeti iz publikacije »Razvoj elektroprivrede Jugoslavije 1945. do 1955.«

[1]) U elektranama su uzeti u obzir samo transformatori koji transformiraju od gornjeg napona na donji napon (npr. 110/35 kV), a ne i transformatori koji transformiraju od generatorskog napona na donji napon.

397a Instalirana snaga elektrana i proizvodnja električne energije u svijetu

Zemlja	Instalirana snaga[1]) 1961. ukupno GW	Instalirana snaga[1]) 1961. hidro GW	Proizvodnja[1]) 1938. ukup. TWh	1938. hidro TWh	1950. ukup. TWh	1950. hidro TWh	1960. ukup. TWh	1960. hidro TWh	1961. ukup. TWh	1961. hidro TWS
Austrija	4,27	3,04	3,0	2,4	6,4	5,0	16,0	11,9	17,0	12,1
Belgija	4,65	0,05	5,3	0,0	8,5	0,1	15,1	0,2	16,0	0,2
Bugarska	1,05	0,46	0,3	0,2	0,8	0,3	4,7	1,9	5,4	1,8
ČSSR*	6,37	1,26	4,1	0,6	9,3	*	24,5	2,5	27,0	2,5
Danska	1,85	0,01	1,1	0,0	2,2	1,9	5,2	0,0	4,9	0,0
Finska	2,83	1,56	3,1	2,5	4,2	3,7	8,7	5,1	10,2	7,7
Francuska	23,17	11,04	20,7	10,3	33,0	16,1	72,1	40,3	76,5	38,2
Grčka	0,61	0,20	0,3	0,0	0,7	0,0	2,3	0,5	2,3	0,5
Holandija	5,60	0,00	3,7	0,0	7,4	0,0	16,5	0,0	17,6	0,0
Italija	18,44	12,83	15,5	14,6	24,7	21,6	56,2	46,1	60,6	42,0
Jugoslavija	2,58	1,56	1,1	0,5	2,4	1,2	8,9	6,0	9,7	5,7
Madžarska	1,19	0,02	1,4	0,0	3,0	0,0	7,6	0,1	8,4	0,1
Njemačka Istočna[3])	8,27	*	55,3	7,3	19,5	*	40,3	0,6	42,5	0,7
Njemačka Zapadna	29,17	3,50			44,5	8,6	116,4	13,0	124,6	12,9
Norveška	6,75	6,58	9,9	9,8	17,8	17,7	31,1	30,9	33,8	33,6
Poljska	6,77	0,31	4,0	*	9,4	*	29,3	0,7	32,3	0,6
Portugal	1,47	1,20	0,4	0,1	0,9	0,4	3,3	3,1	3,6	3,4
Rumunjska	1,86	0,21	1,1	0,1	2,1	0,2	7,7	0,4	8,7	0,5
Španija	7,02	4,80	2,7	2,2	6,9	5,1	18,6	15,6	20,8	15,9
Švedska	9,79	7,59	8,2	7,3	18,2	17,3	34,8	31,1	38,4	36,6
Švicarska	6,20	6,20	7,0	7,0	10,5	10,3	19,1	18,8	22,3	22,2
Ujed. kraljevstvo[4])	39,32	1,29	25,7	1,0	56,5	1,5	136,9	3,1	145,9	3,9
Evropa[5])			183,0		302,7		689,8		733,7	
SSSR	74,10	16,37	39,4	5,1	91,2	12,7	292,3	50,9	327,6	59,1
Afrika			7,3		15,7		40,0		43,1	
Amerika Južna			7,2		18,9		51,0		54,3	
SAD[6])	197,92	36,20	142,0		388,7	100,9	841,6	149,1	878,5	155,2
Amerika Sjeverna[7])			174,8		451,6		976,9		1014,6	
Japan	25,95	13,51	32,7	23,7	44,9	38,3	99,1	61,7	132,0	68,0
Azija[8])			40,0		60,9		225,9		244,4	
Oceanija			7,3		15,8		34,0		35,7	
SVIJET			459,0		956,8		2299,9		2453,3	

Izvori: Podaci za ovu tablicu sakupljeni su iz slijedećih publikacija: a) United Nations, Statistical yearbook 1962 i drugi statistički godišnjaci OUN. — b) Monthly bulletin of statistics i World energy supplies 1957—1960 (New York, 1962) — c) Annual bulletin of electric energy statistics for Europe 1961, United Nations 1962. — d) Situation et perspectives de l'industrie électrique européenne en 1961/1962, Nations Unies, Genève 1963. — e) Quaderni di studi e notizie, br. 369/370, Società Edison, Milano 16.8/1.9.1962.

Ukupna proizvodnja električne energije u svijetu u 1962. godini cijeni se na 2667 TWh (milijardi kWh).

---

1) Obuhvaćene sve elektrane javne i industrijske. — 2) Podaci za instaliranu snagu su procijenjeni. Prema podacima OUN inst. snaga javnih elektrana 1961. iznosila je 4175 MW, a industrijskih elektrana 1960. 1773 MW. — 3) Inst. snaga termoelektrana iznosi 8268 MW, a inst. snaga hidroelektrana je vrlo mala. — 4) Za 1938. i 1950. godinu obuhvaćena samo Vel. Britanija. Za 1960. i 1961. godinu obuhvaćena i Sjeverna Irska. — 5) Bez SSSR. — 6) Do 1960. god. bez Aljaske i Havaja. — 7) Uključivši i Srednju Ameriku. — 8) Bez SSSR. — * Statistički godišnjak Organizacije ujedinjenih naroda ne sadrži ovaj podatak.

Svjetska proizvodnja električne energije

397b

Godina	TWh	Godina	TWh	Godina	TWh
1938.	459,0	1953.	1267,2	1958.	1908,0
1948.	809,7	1954.	1372,4	1959.	2098,2
1950.	957,6	1955.	1544,0	1960.	2299,9
1951.	1068,8	1956.	1694,9	1961.	2453,3
1952.	1161,5	1957.	1804,5	1962.	2667[1]

Potrošnja električne energije u Evropi i SAD

398

1	2	3	4	5	6
Zemlja	Bruto-potrošnja 1961. god. GWh	Neto-potrošnja 1961. god. GWh	Neto-potrošnja po stanovn. 1961. god. kWh	Srednji god. porast bruto-potrošnja 1955.-1960. %	Potrošnja elektr. energije u industriji po radniku 1961. MWh
Austrija	14 680	12 196	1725	7,7	7,83*
Belgija	14 732	13 934	1514	5,0	9,04
Bugarska	5 450	4 811	605	17,6	
ČSSR	24 801	22 678	1646	8,5	6,80*
Danska	5 849	5 149	1115	7,0	4,06
Finska	10 650	9 600	2149	5,7	
Francuska	76 650	69 500	1512	7,7	10,14
Grčka	2 507	2 156	257	10,7	
Holandija	16 699	15 550	1336	7,9	9,91
Italija	60 733	51 180	1035	8,0	7,48*
Jugoslavija	9 425	8 067	436	15,7	4,95
Madžarska	8 056	7 301	728	7,6	4,86
Njemačka Istočna	42 156	36 946	2163		
Njemačka Zapadna	120 790	111 483	2063	8,3	9,83
Norveška	33 694	29 820	8258	6,9	52,80
Poljska	29 850	26 873	897	10,5	7,32*
Portugal	3 606	3 123	340	11,6	
Rumunjska	8 592	7 112	383	12,0	
Španija	19 905	16 155	529	8,6	
Švedska	37 125	32 222	4285	6,4	21,15
Švicarska	18 824	16 602	3035	4,7	9,57
Ujedinjeno kraljevstvo	138 396	125 496	2378	7,7	6,20
SSSR	327 000	286 166	1313	11,4	
SAD	881 198	807 426	4415	5,9	
Evropa ukupno[2])	1 019 000			9,3	

Izvori: a) Za stupce 2 do 4: Annual bulletin of electric energy statistics *for Europe* 1961, United Nations 1962. — b) Za stupce 5 i 6: Situation et perspectives de l'industrie électrique européenne en 1961/1962, Nations Unies, Genève 1963. — c) Za Jugoslaviju: Statistički godišnjak FNRJ 1961.

1) Procijenjeno.
2) Uključivši SSSR.
* Podaci za 1960. godinu.

399 **Svjetska proizvodnja energije***

Nosilac energije	Jedinica	1929.	1937.	1952.	1956.	1958.	1960.	1961.
Kameni ugljen	tona · 10^6	1335	1306	1491	1689	1820	1987	1943
Mrki ugljen, lignit	„	236	258	438	565	614	641	664
Sirova nafta	„	212	293	653	841	910	1057	1124
Zemni plin	$m^3 \cdot 10^9$	57	78	247	327	376	468	516
Hidroelektrika	TWh	111	182	399	512	608	689	720
Ukupno uslovni ugljen**	tona · 10^6	1838	1985	3060	3506	3826	4309	4418

400 **Zalihe energije**

a) Zalihe energije u SFRJ

1. *Zalihe krutih goriva*

Gorivo	Prosječna donja ogrjevna moć	Procijenjene ukupne zalihe god. 1957.	Zalihe preračunate na ugljen od 7000 kcal/kg
Kameni ugljen[1])	6000 kcal/kg	235 000 000 tona	200 000 000 tona
Mrki ugljen[1])	4000 „	1 960 000 000 „	1 140 000 000 „
Lignit[1])	2500 „	19 445 000 000 „	6 950 000 000 „
Ukupno ugljen	—	21 640 000 000 tona	8 290 000 000 tona
Drvo[2])	3200 kcal/kg	741 000 000 m^3	210 000 000 „
Ukupno kruta goriva	—	—	8 500 000 000 tona

2. Zalihe nafte cijene se na 60 000 000 tona[3]).
3. Zalihe zemnog plina cijene se na 18 000 000 000 m^3 — [3]).
4. Vodne snage[4]).

Bruto-potencijal . . . . 110 TWh/god.
Neto-potencijal . . . . 89 „
od toga: iskoristivo . . . . 66 „

Prema procjeni V. Jevđevića i D. Marjanovića (Elektroprivreda br. 2/1954) ekonomski iskoristive vodne snage SFRJ iznose 66,5 TWh/god.

Prema S. Mikulcu[5]) ekonomski iskoristive vodne snage SFRJ iznose 65 TWh/god., od čega na sliv Crnog mora ide 42, na sliv Jadranskog mora 19, a na sliv Egejskog mora 4 TWh/god.

* Prema publikacijama Organizacije ujedinjenih naroda.

** Uslovni (ili standardni) ugljen je gorivo ogrjevne moći 7000 kcal/kg. U publikacijama OUN računa se 1 MWh = 0,125 tona uslovnog ugljena.

1) Vidi A. Blažek, Raspoloživi potencijal uglja FNRJ. Objavljeno u publikaciji »Razvoj elektroprivrede Jugoslavije od 1945 do 1955«, izdanje Zajednice jugosl. elektroprivrede, Beograd 1957.

2) Statistički godišnjak FNRJ 1957. (Navedena drvna masa odnosi se na stanje krajem 1953. godine.)

3) A. Blažek, I. Kovačević, K. Mirkov, G. Preci: Requirements and possibilities of production of energy in Yugoslavia. Proc. Internat. Conf. on the Peaceful Uses of Atomic Energy. sv. 1, New York 1956, str. 118. (Vidi i A. Blažek i K. Mirkov, *Raspoloživi potencijali uglja, nafte i plina u Jugoslaviji*, Elektroprivreda br. 2/1954.

4) Hidrotehnički institut »Inž. Jaroslav Černi«, Vodne snage Jugoslavije, Beograd 1956.

5) S. Mikulec, Hidroenergetski potencijal Jugoslavije, Elektroprivreda Jugoslavije, Beograd 1962, str. 83.

b) Vodne snage i zalihe krutih goriva u pojedinim evropskim zemljama

prema procjeni vodnih snaga i zaliha goriva iz 1950. god. te procjeni stanovništva iz 1956. god.

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Zemlja	Stanovništvo 10^6	Površina $10^3 km^2$	TWh	kWh/br. st.	MWh/km^2	G 10^6 tona	G/br.st. tona	G/pov. 10^3 tona/km^2
Albanija	1,4	28,7	3,0	2 100	104			
Austrija	7,0	83,8	30,0	4 300	358	120	17	1,4
Belgija	8,9	30,5	0,5	60	17	11 300	1 270	370
Bugarska	7,6	111,5	6,0	790	54	340	45	3,1
Čehoslovačka	13,2	127,9	7,0	530	55	14 350	1 090	112
Danska	4,5	43,0	0,0	10	1	70	16	1,6
Finska	4,3	337,0	10,0	2 330	30	150	35	0,5
Francuska	43,6	551,2	59,8	1 370	108	13 000	300	23,6
Grčka	8,0	132,6	4,3	530	29	680	85	5,1
Holandija	10,9	32,4	0,0	—	—	4 530	420	140
Irska	2,9	70,3	1,0	350	14	910	310	12,9
Italija	48,3	301,2	45,0	930	149	1 030	21	3,4
Jugoslavija	17,9	255,8	66,0	3 690	258	7 640	430	29,8
Luksemburg	0,3	2,6	0,1	430	50	—	—	—
Mađarska	9,8	93,0	2,0	200	21	1 160	118	12,5
Njemačka	67,3	355,4	18,0	270	51	254 000	3 770	710
Norveška	3,5	323,9	104,5	30 000	323	(8 300)	2 400	26
Poljska	27,8	311,7	5,5	200	18	203 000	7 300	650
Portugal	8,8	92,2	8,0	910	87	20	2	0,2
Rumunjska	17,6	237,5	21,6	1 230	91	1 030	58	4,3
SSSR[1])	200,2	22403	1500	7 500	67			
Španija	29,2	503,5	31,5	1 080	63	8 500	290	17
Švedska	7,3	449,7	50,0	6 850	110	2 420	330	5,4
Švicarska	5,0	41,3	27,0	5 400	650	—	—	—
Turska[1])	24,8	777,0	15,0	600	19	600	24	0,8
Ujed. kraljev.	51,4	244,0	9,4	180	39	177 000	3 400	720
Evropa[2])	412	4930	494	1 200	100	706 000	1 700	143

Komentar: TWh (teravatsat) = 10^9 kWh — hidraulička energija koja bi se godišnje mogla iskoristiti nakon potpune izgradnje hidroelektrana kojih je izgradnja ekonomski podnošljiva; kWh/br. st. — omjer stupaca 4 i 2; MWh/km^2 — omjer stupaca 4 i 3; G — ukupne zalihe krutih goriva izražene ekvivalentnom težinom standardnog ugljena ogrjevne moći 7000 kcal/kg; G/br. st. — omjer stupaca 7 i 2; G/pov. — omjer stupaca 7 i 3.

Procjena vodnih snaga i zaliha krutih goriva prema brošuri: Les mouvements de l'énergie électrique à travers les frontières des pays européennes (Kretanje elektr. energije preko granica evropskih zemalja), Sekcija za elektr. energiju OUN Ženeva 1962. Podaci za broj stanovnika uzeti su iz Statističkog godišnjaka 1957 OUN (procjena za sredinu 1956. god.). Podaci za Jugoslaviju prema jugoslavenskim izvorima. Podaci za SSSR prema procjeni Sekretarijata Ekonomske komisije za Evropu OUN. Prema jednoj novijoj procjeni u brošuri Evolution de l'industrie productrice d'énergie électrique en Europe durant la période d'après guerre (Razvoj proizvodnje električne energije u Evropi u poslijeratnom periodu, izdanje OUN, Ženeva 1959) iskoristivi izvori hidroelektrične energije u pojedinim zemljama iznose (u TWh): Albanija 5, Austrija 40, Belgija 0,5, Bugarska 11,1, ČSSR 12, Finska 17,0, Francuska 76,3, Grčka 4,3, Irska 1, Italija 55, Jugoslavija 66,5, Madžarska 2, Njemačka 27,2, Norveška 104,5, Poljska 13,3, Portugal 13,2, Rumunjska 27, SSSR 1800, Španija 31,5, Švedska 80, Švicarska 32,3, Ujedinjeno kraljevstvo 11,5, Evropa bez SSSR 758, SAD 491

401 Elektrifikacija naselja i kućanstava u SFRJ

Stanje 1. XII 1962.*

Republika	Broj naselja ukupno	elektri-ficirano	neele-ktri-ficirano	Ukupan broj kućanstava	Elektrificirana kućanstva broj	%	Od toga na sistemu %	na lokalnoj mreži %
Srbija	6 040	3 229	2 811	1 885 975	1 127 710	59,79	99,53	0,47
Hrvatska	6 742	4 494	2 248	1 165 224	832 544	71,45	99,44	0,56
Slovenija	6 047	5 880	167	462 397	431 081	93,23	99,54	0,46
B i H	6 063	1 857	4 206	707 737	278 736	39,38	99,80	0,20
Makedonija	1 601	760	841	259 224	180 755	69,73	98,10	1,90
Crna Gora	1 236	541	695	100 160	50 612	50,53	100,00	—
SFRJ	27 729	16 761	10 968	4 580 717	2 901 438	63,34	99,45	0,55

Vidi razvoj potrošnje električne energije u kućanstvima SFRJ u 388b, str. 658. i u 387 str. 657. (na dnu strane).

402 Iz historije elektroprivrede

Elektrane: 1882. — prva javna elektrana (istosmjerna) (New York), 1886. — prva izmjenična elektrana (Rim), 1892. — prva trofazna elektrana (Lauffen), 1956. — prva javna nuklearna (atomska) elektrana (Calder Hall).

Razvoj prijenosa električne energije: 15 kV — 1891. god. (prvi trofazni prijenos), 25 kV — 1896, 60 kV — 1900, 110 kV — 1908, 150 kV — 1913, 220 kV — 1923, 287 kV — 1938, 380 kV — 1950, 500 kV — 1960, 750 kV 1965.

Prva dobava električne energije našim gradovima: Aranđelovac 1925, Banja Luka 1899, Bela Crkva 1908, Beograd 1892, Bihač 1912, Bitola 1924, Cetinje 1910, Crikvenica 1927, Čačak 1921, Čakovec 1903, Daruvar 1928, Doboj 1924, Dubrovnik 1900, Đakovo 1923, Đurđevac 1911, Fužine 1925, Gospić 1925, Gračanica 1930, Hercegnovi 1925, Inđija 1917, Irig 1928, Jajce 1900, Karlovac 1903, Knin 1929, Kočevje 1896, Koprivnica 1925, Kotor 1916, Kovin 1913, Kragujevac 1928, Kranj 1898, Križevci 1913, Krk 1929, Kruševac 1922, Kumanovo 1926, Leskovac 1902, Lipik 1894, Ljubljana 1898, Mostar 1912, Niš 1909, Novi Sad 1910, Ogulin 1924, Opatija 1910, Osijek 1927, Pakrac 1906, Pančevo 1925, Pirot 1922, Požarevac 1926, Požega 1912, Prilep 1931, Priština 1928, Prizren 1929, Ptuj 1924, Pula 1898, Rab 1925, Rijeka 1908, Ruma 1912, Sarajevo 1895, Senta 1895, Sisak 1906, Skopje 1909, Slav. Brod 1927, Slovenjgradec 1903, Smederevo 1923, Sombor 1903, Split 1920, Stara Pazova 1892, Subotica 1896, Svetozarevo 1930, Šibenik 1894, Šid 1928, Škofja Loka 1894, Tetovo 1926, Titograd 1924, Titovo Užice 1897, Ulcinj 1932, Valjevo 1899, Varaždin 1895, Veles 1929, Vel. Kikinda 1906, Vinkovci 1930, Virovitica 1918, Vršac 1897, Zadar 1897, Zagreb 1907, Zemun 1901, Zrenjanin 1895.

Najstarije industrijske elektrane u našoj zemlji: Duga Resa (tekstilna industrija) 1884, Litija (tekstilna industrija) 1886, Županja (hrastov ekstrakt) 1887, Zenica (rudnik) 1888, Kreka (tvornica i rafinerija špirita) 1890, Vareš (željezara) 1890, Beočin (fabrika cementa) 1896, Titovo Užice (tkaonica) 1899.

* Prema Statističkom godišnjaku Elektroprivrede SFRJ za 1962. godinu.

Prosječno trajanje elemenata postrojenja

Elementi postrojenja	Prosječne godine trajanja prema			
	GDEH[1])	Morse-u[2])	Schneider-u[3])	Windel-u[4])
Vodograđevine	65	—	55 — 75	100 — 200
Hidromehanička oprema	25	—	25 — 30	33
Vodni agregati (kompletni)	20	—	—	—
Vodne turbine	25	30	18 — 20	25 — 33
Dimnjaci termoelektrana	—	10 — 33	—	66 — 100
Bunkeri za ugljen u TE	25	—	—	—
Parni kotlovi vatrocijevni	15	10 — 15	10 — 20	18 — 20
Parni kotlovi vodocijevni	—	20	—	—
Pumpe	13	15 — 20	10 — 20	10 — 12
Doprema ugljena u TE	10	10 — 20	6 — 12	18 — 20
Priprema ugljena u TE	10	10 — 20	—	—
Otprema pepela i troske u TE	10	10 — 20	—	—
Čišćenje dimnih plinova u TE	10	—	—	—
Priprema pojne vode u TE	18	—	12 — 20	18 — 20
Parne turbine	15	15 — 20	15 — 20	10 — 20
Parni strojevi (stapni)	13	13 — 33	13 — 18	18 — 20
Lokomobili	13	—	—	18 — 20
Dizelski motori	10	—	12 — 20	10
Plinski motori	10	15	15 — 20	18 — 20
Plinski generatori	10	—	—	—
Uređaji za hlađenje u TE	17	—	—	10 — 12
Strojarnice	35	50	25 — 50	66 — 100
Zgrade upravne i stambene	40	50	75 — 100	—
Cjevovodi	15	15 — 20	—	10 — 12
Oruđe i alat	4	—	—	—
Električni generatori	15	20 — 33	10 — 25	20
Elektromotori	17	20	—	20
Usmjerivači	15	—	—	—
Transformatori uljni	20	15 — 20	18 — 22	25
Akumulatori stacionarni	10	20	8 — 12	—
Rasklopni i razvodni uređaji	15	12 — 33	16 — 20	12 — 18
Brojila i mjerni instrumenti	15	12 — 20	15 — 25	12 — 18
Zaštitni releji i slično	15	—	10 — 16	12 — 18
Nadzemni vodovi				
sa betonskim stupovima	35	—	—	—
sa čeličnim stupovima	30	—	25 — 35[5])	[6])
sa drvenim impregn. stupovima	17	—	—	—
sa drvenim neimpregn. stupovima	7	—	—	—
Kabeli	40	—	33 — 50	33 — 50
Javna rasvjeta gradska	15	—	—	—
Javna rasvjeta seoska	12	—	—	—

[1]) Bivša Gen. direkcija za elektroprivredu NRH, prema okružnici iz XII/1950.
[2]) F. T. Morse, Power Plant Engineering and Design, 2. izdanje (3. štampanje), New York 1946, str. 51.
[3]) Schneider-Schnaus, Elektrische Energiewirtschaft, Berlin 1936, str. 145 (i Körfer, Taschenbuch für Enegiewirtschaft, Berlin 1939, str. 257).
[4]) W. Windel Deutsche Elektrizitätswirtschaft, Berlin 1939, str. 86.
[5]) Bez navoda na kakve se vodiče odnosi.
[6]) Vodiči od bakra, bronce i čelika 40—50, od aluminija 33, betonski stupovi 50, čelični stupovi 20, impregnirani drveni stupovi 17—20.

404

Potrošak topline u termoelektranama

(Za nove elektrane i za upotrebno vrijeme instalirane snage ≈ 4500 sati)

Vrst elektrane	Gorivo	Donja ogrjevna moć	Potrošak topline	Ukupna korisnosti	Potrošak goriva
		kcal/kg	kcal/kWh	%	kg/kWh
Parne kondenzacione elektrane					
s parnim turbinama					
200 MW, > 100 at	lignit	2000	2500—2900	34—30	1,25—1,45
100 „ , > 80 „	„	„	2700—3300	32—26	1,35—1,65
40 „ , > 60 „	„	„	3000—3800	29—23	1,5—1,9
10 „ , > 40 „	„	„	3700—4500	23—19	1,85—2,25
1 „ , > 25 „	mrki ugljen	4000	4500—5000	19—17	2,25—2,5
Sa binarnim procesom	kameni uglj.	7000	2300—2700	37—32	1,15—1,35
Parne protutlačne elektrane					
s parnim turbinama					
5—20 MW, > 40 at	lignit	2000	1400—1800	60—48	0,7—0,9
1—5 MW, > 25 at	„	2000	1600—2200	54—39	0,8—1,1
Elektrane s parnim strojevima					
Na protutlak	mrki ugljen	4000	2500—3000	34—29	0,65—0,75
S kondenzacijom	„	4000	7500—10000	11,5—8,5	1,9—2,5
Na ispuh	„	4000	12000—15500	7—5	3,0—3,9
Dizelske elektrane					
10000 kW	plinsko ulje	10400	~2600	~33	~0,25
2000 „	„	„	~2700	~32	~0,26
500 „	„	„	~2800	~30,5	~0,27
100 „	„	„	~3100	~28	~0,30
50 „	„	„	~3200	~27	~0,31
Elektrane na upojni plin					
300 kW	drvo	3200	~3900	~22	~1,22
100 „	„	„	~4100	~21	~1,28
30 „	„	„	~4600	~18,5	~1,44
Plinske elektrane					
s eksplozionim motorima	grotleni plin	900*	~3100	~28	~3,45**
„ „ „	zemni plin	9000*	2500—3000	30—35	0,28—0,33
s plinskim turbinama	„	9000*	2500—3000	30—35	0,28—0,33

* kcal/Nm³. ** Nm³/kWh.

REMENSKI PRIJENOS

Najveći dozvoljeni prijenosni omjer pri prijenosu plosnatim remenom **405 a**

Položaj remena	Zagonska remenica jest	Koji dio remena vuče	Najveći dozvoljeni prijenosni omjer
horizontalan	—	donji	8 : 1
		gornji	6 : 1
kos	dolje	donji	6,5 : 1
		gornji	4,5 : 1
	gore	donji	6 : 1
		gornji	4,5 : 1
vertikalan	dolje	svejedno koji	5 : 1
	gore		4 : 1
Uz primjenu natezne remenice			15 : 1

Područje upotrebe prijenosa klinastim remenima **405 b**

Osobito za takve prijenose, kod kojih razmak osovina treba da bude što manji, te za prijenos vrlo velikih snaga.

1. Za snage od 0,1 do 800 kW.
2. Za prijenosni omjer do 15 : 1.
3. Za obuhvatni kut > 90° (po mogućnosti ne ispod 120°).
4. Za brzine do 30 m/s (po mogućnosti ne preko 20 m/s).
5. Broj remena do 7, izuzetno do 10 za jedan prijenos.

406 Računska snaga za dimenzioniranje remena

Remenje (plosnato i klinasto) ne dimenzionira se prema nazivnoj snazi motora, već prema računskoj snazi koju izračunamo po formuli:

$$P_r = k_1 P_n$$

P_r - računska snaga, P_n - nazivna snaga. Faktor k_1 dobije se iz tablice:

Vrst opterećenja	Faktor k_1 za dnevni rad			Primjeri pogona za navedene vrsti opterećenja
	do 3 sata	8 — 10 sati	24 sata	
Jednoliko opterećenje	0,8	1,0	1,25	Elektr. generatori, rotacioni kompresori, turbokompresori, centrifugalne pumpe, ventilatori do 30 kW, roštilji kotlova, transportne trake i druge transportne naprave s jednolikim opterećenjem, tokarilice, glodalice.
Oscilirajuće i promjenljivo opterećenje	1,0	1,24	1,5	Ventilatori iznad 30 kW, stapni (klipni) kompresori i pumpe sa 2 cilindra ili više, dizalice i kranovi, strojevi za obradu metala i drva, mlinovi s kuglama i kamenjem, mreže za prosijavanje, strojevi papirne industrije.
Udarno opterećenje i teško pokretanje	1,5	1,75	2,0	Stapni kompresori i pumpe s jednim ili dva cilindra (ako im je zamašnjak razmjerno malen), transportne naprave na oscilacije i drmanja, preše, batovi, drobilice, strojevi za predenje i tkanje.
Poznato najveće preopterećenje p postotaka	$1 + \frac{3p}{1000}$	$1 + \frac{3{,}5p}{1000}$	$1 + \frac{4p}{1000}$	*Primjedba:* Po ovoj se formuli može izračunati k_1 kad je poznato najveće preopterećenje.

PRIJENOS PLOSNATIM REMENOM

407a Podaci normalnog plosnatog remenja

1. Kožnato remenje: Prema njemačkoj klasifikaciji najbolji se remeni označuju kao klasa III. Ti se remeni izrađuju od goveđe kože uzete sa hrpta (sredina hrpta = sredina remena), debljine 4 do 6 mm, opteretivost do 33 kp/cm², upotreba do 45 m/s. Klasa II: opteretivost do 25 kp/cm², brzina do 24 m/s. Klasa I: opteretivost do 25 kp/cm², brzina do 12 m/s.

Debljina kožnatog remena iznosi za jednostruki remen 3 do 7 mm, prosječno 4 do 6 mm, za dvostruki remen 6 mm (lagan), 7 mm (srednji) i 8 do 10 mm (normalni), za trostruki remen 12 mm i više.

2. Gumirano tekstilno remenje: Tvornica »Sava«, Kranj isporučuje ove debljine remena:

Do 60 mm širine remena 3 sloja (3,6 mm)
60 do 120 mm širine remena 4 sloja (4,8 mm)
120 do 170 mm širine remena 5 slojeva (6,0 mm)
170 do 250 mm širine remena 6 slojeva (7,2 mm)

Izrađuje se i remenje sa 7 slojeva (8,4 mm) i 8 slojeva (9,6 mm).

Brzina remena u m/s u ovisnosti o brzini vrtnje i promjeru remenice

407b

Promjer remenice mm	Brzina vrtnje remenice okr/min								
	300	500	600	750	1000	1200	1500	2000	3000
50								5,2	7,8
63							4,9	6,6	9,9
80						5,0	6,3	8,4	12,5
100					5,2	6,3	7,9	10,5	15,7
125				4,9	6,5	7,9	9,8	13,1	19,6
140				5,5	7,3	8,8	11,0	14,6	22,0
160			5,0	6,3	8,4	10,0	12,6	16,7	25,1
180			5,7	7,1	9,6	11,3	14,1	18,8	
200		5,2	6,3	7,9	10,5	12,6	16,7	20,9	
225		5,9	7,1	8,8	11,8	14,1	17,7	23,5	
250		6,5	7,9	9,8	13,1	15,7	19,6	26,2	
280		7,3	8,8	11,0	14,7	17,6	22,0		
320		8,4	10,0	12,6	16,8	20,1	25,1		
360		9,4	11,3	14,1	18,8	22,6			
400	6,3	10,5	12,5	15,7	21,0	25,1			
450	6,7	11,8	14,1	17,7	23,6				
500	7,8	13,1	15,7	19,7	26,2				

Preporučljivi najmanji promjeri remenica

407c

za razne snage i razne brzine vrtnje motora kod prijenosa plosnatim remenom
Promjeri remenica u mm za prijenos kožnatim remenom

Prenošena snaga kW	Sinhrona brzina vrtnje motora okr/min						Prenošena snaga kW	Sinhrona brzina vrtnje motora okr/min					
	500	600	750	1000	1500	3000		500	600	750	1000	1500	3000
1			100	100	80	80	30	450	400	360	320	280	250
1,5			120	100	100	80	40	500	450	450	360	320	
2,2			125	125	100	100	50	560	500	500	400	360	
3			140	140	125	100	60	630	560	560	450	360	
4		180	160	140	125	125	80	710	630	560	500		
5,5		200	180	160	140	140	100	800	710	630	500		
7,5		250	200	180	160	160	125		800	710	560		
11	320	280	250	200	180	160	160		800	710	560		
15	360	320	280	250	200	180	200			800	560		
22	400	360	320	280	250	225	250			800	560		

Prema Severinu[1]) promjer manje remenice može se odrediti po formuli

$$d_1 = (1150 \text{ do } 1400) \sqrt[3]{\frac{P}{n}}$$

P - prenošena snaga manje remenice (kW)
n - brzina vrtnje manje remenice (okr/min)

Promjer manje remenice određen je i uvjetom[1]) da omjer d_1/δ (δ - debljina remena) bude barem jednak 25 ili veći (preporučuje se 35) za kožnate remene i 30 (preporučuje se 40) za gumirane tekstilne remene. Brzina remena (vidi gore) neka bude 10 do 20 (izuzetno 5 do 30) m/s.

---

[1]) Vidi Spravočnik mašinostroitelja, sv. 4, str. 465 i dalje (Moskva 1956).

Najmanji promjeri remenica (nastavak)

Tvornica »Sava«, Kranj preporučuje za gumirane tekstilne remene ove najmanje promjere remenica:

Broj uložaka	Najmanji promjer remenice u mm za brzinu remena u m/s				
	5	10	15	20	25
3	50	60	60	80	80
4	100	100	125	150	150
5	150	175	200	225	250
6	250	275	300	350	375

407d Najmanji dozvoljeni razmak osovina u metrima pri prijenosu običnim kožnatim remenom

Promjer manje remenice mm	Promjer veće remenice u milimetrima													
	200	300	400	500	600	700	800	900	1000	1100	1200	1500	2000	2500
80	0,6	0,8	1,0											
100		0,7	0,9	1,0	1,3	1,5	1,8							
160			0,7	0,9	1,2	1,4	1,6	1,8	2,2	2,4	2,7			
200			0,6	0,8	1,0	1,3	1,5	1,7	2,0	2,3	2,6	3,5		
250				0,7	1,0	1,2	1,4	1,6	1,9	2,2	2,5	3,4	4,0	
320				0,6	0,8	1,1	1,3	1,5	1,8	2,1	2,3	3,3	3,9	4,6
400					0,6	0,9	1,1	1,3	1,6	1,8	2,1	3,0	3,6	4,4
450						0,8	1,0	1,2	1,5	1,7	2,0	2,9	3,4	4,3
500						0,7	0,9	1,1	1,3	1,6	1,8	2,8	3,5	4,2

Najmanji dozvoljeni razmak osovina a može se odrediti iz formula:

$a \geqq 2\,(d_2 + d_1)$ ili $a \geqq 2 + 5b + 1{,}25\,(d_2 - d_1)$ metara

gdje je b širina remena.

407e Normalne širine i promjeri remenica

prema DIN 111/1954

Širina remena mm	16	20	25	32	40	50	(63)	71	(80)
Širina remenice mm	20	25	32	40	50	63	(71)	80	(90)
Širina remena mm	90	(100)	112	125	140	160	180	200	224
Širina remenice mm	100	(112)	125	140	160	180	200	224	250
Širina remena mm	250	280	315	355	400	450	500	560	
Širina remenice mm	280	315	355	400	450	500	560	630	

N o r m a l n i p r o m j e r i r e m e n i c a: **40 — 45 — 50 — 56 — 63 — 71 — (75) — 80 — (85) — 90 — (95) — 100 — (106) — 112 — (118) — 125 — (132) — 140 — (150) — 160 — (170) — 180 — (190) — 200 — (212) — 224 — (236) — 250 — (265) — 280 — (300) — 315 — (335) — 355 — (375) — 400 — (425) — 450 — (475) — 500 — (530) — 560 — (600) — 630 — (670) — 710 — (750) — 800 — (850) — 900 — (950) — 1000 — (1060) — 1120 — (1180) — 1250 — (1320) — 1400 — (1500) — 1600 — (1700) — 1800 — (1900) — 2000 — (2120) — 2240 — (2360) — 2500 — (2650) — 2800 — (3000) — 3150 — (3350) — 3550 — (3750) — 4000 — (4250) — 4500 — (4750) — 5000.**

Prenosna snaga jednostrukih kožnatih remena

u kW po centimetru širine

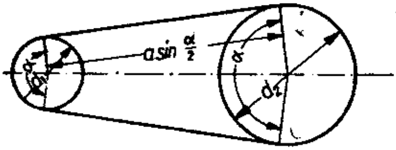
Promjer manje remenice mm	Brzina vrtnje manje remenice u okr./min								
	300	500	600	750	1000	1200	1500	2000	3000
50							0,09	0,14	0,16
63						0,11	0,14	0,17	0,23
80					0,12	0,14	0,19	0,24	0,30
90					0,14	0,16	0,23	0,29	0,45
100				0,12	0,16	0,18	0,27	0,33	0,60
112			0,12	0,15	0,19	0,23	0,32	0,47	0,80
125		0,11	0,14	0,17	0,23	0,30	0,40	0,61	0,99
140		0,15	0,17	0,24	0,34	0,42	0,55	0,80	1,23
160		0,20	0,23	0,31	0,45	0,54	0,73	1,01	1,47
180		0,24	0,29	0,38	0,55	0,68	0,90	1,25	1,65
200	0,14	0,29	0,36	0,46	0,67	0,81	1,09	1,47	1,80
225	0,18	0,37	0,45	0,60	0,84	1,03	1,32	1,73	1,85
250	0,22	0,44	0,52	0,68	0,98	1,18	1,51	1,87	1,85
280	0,28	0,51	0,58	0,82	1,16	1,38	1,72		
320	0,35	0,64	0,76	0,99	1,37	1,59	1,96		
360	0,40	0,75	0,88	1,18	1,58	1,85	2,17		
400	0,48	0,86	1,03	1,32	1,79	2,02	2,34		
450	0,57	0,99	1,19	1,53	2,00	2,24			
500	0,67	1,16	1,36	1,74	2,21				
560	0,80	1,33	1,58	1,97					
630	0,86	1,51	1,77	2,20					
710	0,99	1,73	2,00						
800	1,14	1,95	2,28						

Primjedbe: 1. Gornja tablica izračunata je prema njemačkim podacima za kvalitetni remen debljine 5 mm. Za kvalitetni remen debljine 4 mm preporučuje se uzeti 15% manje vrijednosti (tj. vrijednosti u tablici pomnožiti sa 0,85). Ako je remen slabije kvalitete i tanji od 7 mm, treba vrijednosti u tablici pomnožiti sa 0,8.

2. Ako je obuhvatni kut α prema slici na strani 680 manji od 180^0, treba vrijednost u tablici pomnožiti sa korekcionim faktorom k:

α	180^0	170^0	160^0	150^0	140^0	130^0	120^0
k	1	0,97	0,94	0,91	0,88	0,85	0,82

407 g Formule za proračun prijenosa kožnatim remenom



Prijenosni omjer:

$$p = \frac{n_1}{n_2} = 1{,}03\,\frac{d_2}{d_1} \approx \frac{d_2}{d_1}$$

(1,03 uzima u obzir klizanje remena)

Duljina remena (nenapetog, »tupa duljina«):

$$l = 2a\sin\frac{\alpha}{2} + 0{,}5\widehat{\alpha}\,(d_1 + \delta) + (\pi - 0{,}5\widehat{\alpha})\,(d_2 + \delta)$$

(Oznake prema slici: a - razmak osovina, δ - debljina remena, $\widehat{\alpha}$ u lučnoj mjeri.)

$$\sin\frac{\alpha}{2} = \frac{1}{a}\sqrt{a^2 - \frac{(d_2 - d_1)^2}{4}} \quad \text{(odavde i } \alpha\text{)}$$

Kut α može se izračunati i po formuli

$$\cos\frac{\alpha}{2} = \frac{d_2 - d_1}{2a}\,; \qquad \widehat{\alpha} = \alpha^0\,\frac{\pi}{180^0}$$

Ili približno

$$\alpha^0 = 180^0 - \frac{57\,(d_2 - d_1)}{a}$$

Približna duljina remena dobije se po formuli:

$$l = \frac{d_2 + d_1}{2}\,\pi + 2a + \frac{(d_2 - d_1)^2}{4a}$$

Tupa duljina ukrštenog remena može se izračunati po približnoj formuli:

$$l = \frac{d_2 + d_1}{2}\,\pi + 2a + \frac{(d_2 + d_1)^2}{4a}$$

Ovako izračunatoj tupoj duljini treba dodati duljinu preklopa remena. Ako remen naručujemo za postojeći prijenos, najjednostavnije je tupu duljinu remena izmjeriti špagom.

Veličinu pogreške koju činimo računajući po približnim formulama vidi u 408 e.

Prednapon remena neka iznosi 2 do 3 × obodna sila F koja se izračuna po formuli:

$$F = \frac{60 \cdot 102 \cdot P}{\pi d n} \approx \frac{2000}{n} \cdot \frac{P}{d} \ \text{kp}$$

P - snaga u kW, n - brzina vrtnje okr/min, d - promjer remenice u m.

Primjer proračuna prijenosa kožnatim remenom

Zadatak: Motor 16 kW, 1450 okr/min treba da oko 7 sati dnevno goni neku drobilicu brzinom od oko 300 okr/min, $n_1 = 1450$, $n_2 = 300$, $d_1 = ?$, $d_2 = ?$, razmak osovina $a = ?$, širina remena $b = ?$, širina remenica $b' = ?$

Računska snaga: Prema tablici 406 faktor $k_1 = 1{,}25$, pa je $P_r = 1{,}25 \cdot 16 = 20$ kW.

Promjeri remenica: Za 20 kW i 1450 okr/min najmanja remenica je prema tablici 407 c 240 mm ∅. Uzmimo $d_1 = 250$ mm. Prema 407 g jest:

$$d_2 = d_1 \frac{n_1}{n_2} = 250 \cdot \frac{1450}{300} = 1220 \approx 1200 \text{ mm}$$

Razmak osovina prema 407 d treba da bude barem $a = 2500$ mm.

Širina remena: Iz tablice 407 f za 1450 okr/min (približno 1500) i 250 mm ∅ dobijemo 1,51 kW po cm širine remena. Za 20 kW treba dakle remen klase III, debeo 5 mm, a širok $20 : 1{,}51 = 13{,}2$ cm $\sim$ 140 mm.

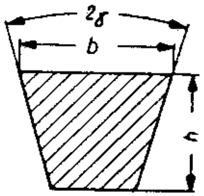
Širina remenica prema tablici 407 e: $b' = 170$ mm.

Tupa duljina remena po približnoj formuli jest:

$$l = \frac{1200 + 250}{2} \pi + 2 \cdot 2500 \cdot \frac{(1200 - 250)^2}{4 \cdot 2500} = 7370 \text{ mm}$$

Računajući po tačnoj formuli dobili bismo $l = 7390$ mm.

PRIJENOS KLINASTIM REMENJEM*



408a

Mjere i težine klinastih remena**

Širina b	mm	5	6	8	10	13	17
Visina h	mm	3	4	5	6	8	11
Širina b	mm	20	(22)	25	32	40	50
Visina h	mm	12,15	14	16	20	25	32

Kut klina $2\gamma = 38^0 \pm 1$

Klinasti remenovi se označuju svojom širinom i unutarnjom duljinom, npr.: Klinasti remen 20 × 1800 JUS G.E2.050.

Širina b mm	5	6	8	10	13	17	20	(22)	25	32	40	50
Težina kg/m	0,015	0,023	0,039	0,059	0,110	0,180	0,245	0,301	0,390	0,628	0,981	1,563

408b

Normalni promjeri remenica za klinaste remenove

Širina remena b mm	5	6	8	10	13	17	20	(22)	25	32	40	50
Manja remenica mm¹)	22	32	45	63	90	125	180	212	250	355	500	710

* Podaci iz članaka: a) B. Černigoj, Proračun prijenosa gumenim klinastim remenima, El. tehn. vesnik, 1948, br. 4—5. — b) Schultze-Pillot, Keilriementriebe, Z. VDI 1941, str. 663.

** Vidi JUS G.E2.050/XII-1963: »Beskrajni klinasti remenovi«.

1) Minimalni promjer.

408 c Područje upotrebe pojedinih veličina klinastih remena

Remen širine b mm	Kod brzine vrtnje (okr/min) oko					
	250	500	750	1000	1500	3000
	mogu se upotrijebiti pojedine grupe za prijenos snage u kW					
10	—	—	—	<0,75	do 1,5	do 1,8
13	—	—	<2,25	0,5—3	0,75—4	1,5—7,5
17	—	—	0,75—5,5	1,5—7,5	2,5—9	3—15
20	—	< 9	3—15	3,5—18	5,5—22	—
22	—	3—15	3,5—18	5,5—22	7,5—30	—
25	<11	3,5—22	5—30	7,5—37	11—45	—
32	3,5—75	7,5—90	11—110	15—150	—	—
40	>15	>45	>75	—	—	—

Upozorenje: Snage navedene u tablici jesu računske snage. Vidi tablicu 406.

408 d Prijenosna sposobnost pojedinih veličina klinastih remena

Remen širine b mm	Ako je brzina remena u m/s									
	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24
	može jedan remen prenositi snagu u kW									
10	0,26	0,35	0,44	0,53	0,62	0,68	0,71	0,74	0,81	0,81
13	0,81	1,0	1,2	1,5	1,6	1,8	1,9	2,0	2,0	1,9
17	1,0	1,3	1,7	2,0	2,3	2,5	2,8	2,9	3,0	2,9
20	1,9	2,5	3,0	3,5	4,0	4,3	4,6	4,7	4,7	4,7
22	2,5	3,2	3,9	4,4	5,1	5,5	5,9	6,0	6,1	6,0
25	3,1	4,2	5,1	5,9	6,6	7,2	7,7	7,9	8,0	7,9
32	4,8	6,2	7,4	8,8	10,1	11,1	12,0	12,6	12,7	12,5
40	6,6	8,5	10,3	12,1	13,6	15,1	16,3	17,3	17,3	17,3

Upozorenje: Ova tablica vrijedi samo uz ove uvjete: 1. Za prijenos 1 : 1, tj. za obuhvatni kut 180°. Ako je obuhvatni kut manji od 180°, treba vrijednosti u njoj pomnožiti s niže navedenim korekcionim faktorom. — 2. Za normalni minimalni promjer manje remenice. Ako uzmemo veću ili manju remenicu od normalne, treba vrijednosti iz tablice pomnožiti s niže navedenim korekcionim faktorom. — 3. Za remene obavijene gumiranom tkaninom na remenicama od sivog liva (lijevanog željeza).

Primjedba: Brzina remena u m/s u ovisnosti o brzini vrtnje i promjeru remenice dobije se iz tablice 407 b.

Korekcioni faktor k_2 za obuhvatni kut manji od 180°:

Za obuhvatni kut	180°	170°	160°	150°	140°	130°	120°	110°	100°	90°
Korekcioni faktor k_2	1,00	0,98	0,95	0,92	0,89	0,86	0,82	0,78	0,73	0,68

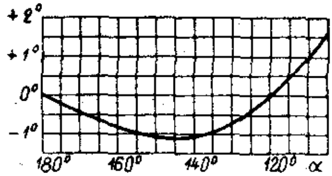
Korekcioni faktor k_3 za remenicu veću ili manju od normalne prema tablici 408 b:

$$k_3 = \frac{\text{promjer odabrane remenice}}{\text{promjer normalne remenice}} \leqq 1{,}2$$

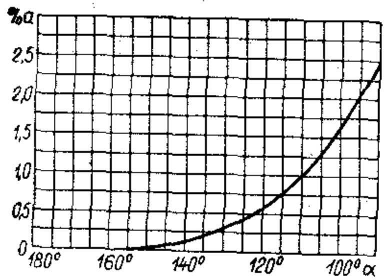
Ako se iz formule dobije k_3 veći od 1,2, uzima se samo 1,2.

Formule za proračun prijenosa klinastim remenima

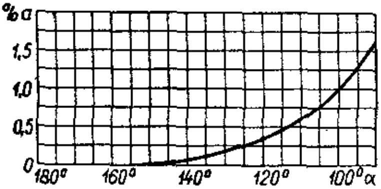
Pogreške kod računanja po približnim formulama



Pogreška kod obuhvatnog kuta α



Pogreška kod duljine remena l_0 (u % razmaka osovina a)



Pogreška kod razmaka osovina a

Prijenosni omjer p:

$$p = \frac{n_1}{n_2} = \frac{d_2}{d_1}$$

Razmak osovina a:

Preporučuje se $a \geqq d_2 + 2b$ (b širina remena).

Obuhvatni kut α:

$$\alpha = 2 \arccos \frac{d_2 - d_1}{2a}$$

približno:

$$\alpha = 180^0 - \frac{57\,(d_2 - d_1)}{a}$$

Broj potrebnih remena N:

$$N = \frac{P_r}{P_1\, k_2\, k_3}$$

P_r - računska snaga, P_1 - prijenosna sposobnost jednog remena, k_2 i k_3 - korekcioni faktori (vidi 408 d).

Računska duljina remena l_0:
približno

$$l_0 = \frac{d_2 + d_1}{2}\pi + 2a + \frac{(d_2 - d_1)^2}{4a}$$

(Tačnu formulu vidi u 407 g)

Unutarnja duljina remena l:

$l = l_0 - \pi h$ (h - visina remena)

Prema izračunatoj unutarnjoj duljini remena l odabere se remen iz kataloga odn. prema podacima dobavljača*. Njegova stvarna duljina bit će l_r. Sada se računa natrag.

Duljina nategnutog remena: $l_r' = (1{,}005 \text{ do } 1{,}01) \cdot l_r$

Računska duljina remena: $l_0 = l_r' + \pi h$

Razmak osovina: $a = c_1 + \sqrt{c_1^2 - c_2}$ (približna formula, za korekturu vidi sliku)

gdje je $c_1 = \frac{l_0}{4} - \frac{\pi}{8}(d_2 - d_1)$; $c_2 = \frac{(d_2 - d_1)^2}{8}$.

* Duljina remena je standardizirana (vidi JUS G.E2.050).

Primjer proračuna prijenosa klinastim remenovima

Zadatak: Elektromotor od 30 kW, 1460 okr/min, treba da tjera cilindrični stapni kompresor koji kod 300 okr/min treba 27 kW kroz 2 smjene (16 sati dnevno). Prostor za prijenos je vrlo ograničen pa prijenos treba izvršiti klinastim remenjem.

Računska snaga: Iz tablice 406 dobijemo za 10 sati $k_1 = 1{,}25$, za 24 sata $k_1 = 1{,}50$. Odaberimo $k_1 = 1{,}35$. Prema tome je računska snaga $P_r = 1{,}35 \cdot 27 \sim 37$ kW.

Veličina remenova: Prema tablici 408 c za 37 kW i 1500 okr/min odaberimo remenove širine $b = 25$ mm.

Promjer manje remenice: Iz tablice 408 b dobijemo $d_1 = 300$ mm. Zbog ograničenog prostora, i da ne dobijemo preveliku brzinu remena, odaberimo oko 20% manji promjer, tj. $d_1 = 250$ mm.

Promjer veće remenice: $d_2 = d_1 \frac{n_1}{n_2} = 250 \frac{1460}{300} = 1220$ mm.

Brzina remenova: Iz tablice 407 b za 1500 okr/min i 250 mm Ø dobijemo $v = 19{,}6$ m/s. Kod 1460 okr/min bit će $v \sim 19$ m/s.

Prenosna sposobnost jednog remena: Iz tablice 408 d dobijemo $P_1 = 7{,}8$ kW.

Razmak osovina odaberimo s obzirom na ograničen prostor $a = 950$ mm.

Obuhvatni kut po približnoj formuli.

$$\alpha = 180^0 - \frac{57\,(1220 - 250)}{950} = 122$$

Korektura prema slici ~ 0.

Korekcioni faktori k_2 i k_3. Iz tablice 408 d (dolje) $k_2 = 0{,}82$,

$$k_3 = \frac{250}{300} = 0{,}83$$

Broj potrebnih remenova:

$$N = \frac{P_r}{P_1\, k_2\, k_3} = \frac{37}{7{,}8 \cdot 0{,}82 \cdot 0{,}83} = 7 \text{ remenova}$$

Računska duljina remena približno

$$l_0 = \frac{1220 + 250}{2}\pi + 2 \cdot 950 + \frac{(1220 - 250)^2}{4 \cdot 950} = 4456 \text{ mm}$$

Korektura prema slici 0,6%. $l_0 = 4456 + 0{,}006 \cdot 950 = 4462$ mm.

Unutarnja duljina remena: $l = 4462 - \pi \cdot 16 = 4412$ mm.

Stvarna duljina remena koji se može dobiti: $l_r = 4500$ mm.

Duljina nategnutog remena $l_r' = 4500 \cdot 1{,}008 = 4536$ mm.

Računska duljina remena: $l_0 = 4536 + \pi \cdot 16 = 4586$ mm.

Stvarni razmak između osovina

$$c_1 = \frac{4{,}586}{4} - \frac{\pi}{4}(1{,}220 + 0{,}250) = 0{,}569 \text{ m}; \quad c_2 = \frac{(1{,}220 - 0{,}250)^2}{8} = 0{,}118 \text{ m}^2$$

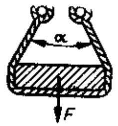
$$a = 0{,}569 + \sqrt{0{,}569^2 - 0{,}118} = 1{,}024 \text{ m} = 1024 \text{ mm}$$

Korektura prema slici 0,4%, $a = 1{,}004 \cdot 1024 = 1028$ mm.

R A Z N O

Nosivost kudjeljnih i čeličnih užeta **409**

Za prvoklasnu kudjeljnu užad i pocinčanu čeličnu užad prekidne čvrstoće barem 120 kp/mm², uz 8-struku sigurnost, iznosi najveći dozvoljeni teret F u kp:

Promjer užeta mm								
	$\alpha = 0$ 100 %		$\alpha = 45°$ 90 %		$\alpha = 90°$ 70 %		$\alpha = 120°$ 50 %	
	kudj.	*čelik*	*kudj.*	*čelik*	*kudj.*	*čelik*	*kudj.*	*čelik*
10		1 060		960		750		540
12		1 640		1 500		1 150		800
13	130		120		90		65	
14		2 000		1 800		1 400		1 000
16	200	2 400	180	2 160	140	1 700	100	1 200
18	250	3 000	225	2 700	175	2 100	125	1 500
20	300	4 000	270	3 600	210	2 800	150	2 000
22		4 800		4 300		3 400		2 400
23	400		360		280		200	
24		6 400		5 750		4 500		3 200
26	500	8 000	450	7 200	350	5 600	250	4 000
28		10 000		9 000		7 000		5 000
29	600		540		420		300	
30		12 000		10 800		8 400		6 000
33		14 400		13 000		10 000		7 200
35		16 000		14 400		11 200		8 000
36	1000		900		700		500	
38		19 000		17 000		13 300		9 500
39	1200		1100		840		600	
40		21 000		19 000		14 700		10 500
45		24 000		21 500		18 800		12 000
50		28 000		25 000		19 600		14 000

Prijevoz robe željeznicom **410**

a) Kolosijeci

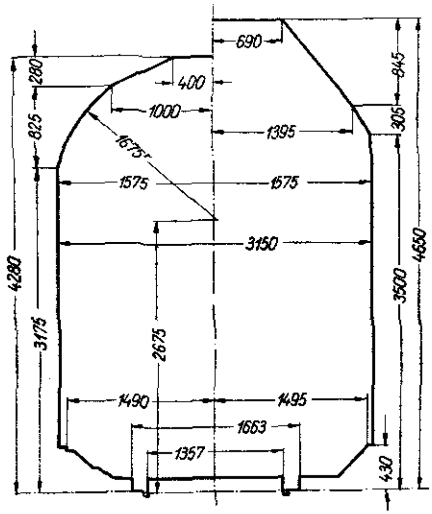
Normalni kolosijek[1]) u SFRJ i gotovo na cijelom svijetu iznosi 1435 mm, u SSSR-u 1524 mm, u Irskoj, Australiji i Braziliji 1600, a u Portugalu, Argentini i Čileu 1667 mm.

Najveći dio uskotračnih željeznica u SFRJ ima kolosijek 760 mm. Odatle se izuzimaju samo pruge u Slavoniji 1000 mm, Makedoniji i Crnoj Gori 600 mm te pruga Virpazar-Bar 750 mm.

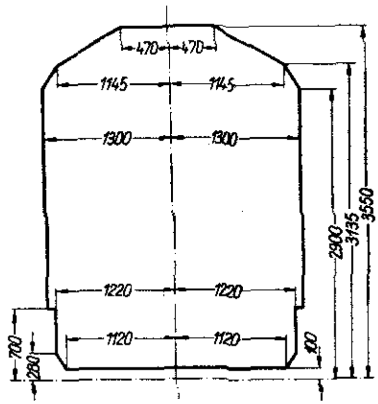
[1]) Kolosijek se mjeri između unutarnjih rubova gornjeg dijela tračnica.

b) Tovarni profili*

Normalni kolosijek (1,435 m)



Uski kolosijek (0,76 m)



Normalni kolosijek (to su međunarodni tovarni profili):

Lijeva polovina: Za elektrificirane pruge normalnog kolosijeka.
Desna polovina: Za neelektrificirane pruge normalnog kolosijeka.

U posebnim slučajevima nadležno željezničko transportno poduzeće može dozvoliti i prijevoz predmeta koji izlaze iz tovarnog profila.

c) Mjere i opterećenja

Visina poda normalnih vagona iznad gornjeg ruba tračnica iznosi 1200 mm. Širina tovarnog prostora u zatvorenim vagonima kreće se između 2,4 i 2,8 m, duljina vagona između 5,3 i 18 m (obično 8 do 10 m), tovarna površina između 15 i 50 m^2. Unutarnja visina zatvorenih vagona sa strane 2,0 do 2,15 m, u sredini 2,25 do 2,84 m. Najveći dozvoljeni teret iznosi 10 do 20 Mp (megapond = tona), pa i više. Orijentaciono može se uzeti da vagoni dugi 7,5 m teže oko 8 Mp, a oni od 10 m oko 10 Mp.

Najveće mjere tovara na otvorenim normalnim vagonima iznose: širina 3150 mm, visina 3450 mm (u sredini) za neelektrificirane pruge, 3080 mm za elektrificirane pruge. Uz posebnu dozvolu mogu se prevoziti i tereti širine do 4000 mm (vrlo izuzetno i širi) te visoki do 3600 mm (za neelektrificirane pruge). Najveći dozvoljeni teret iznosi 10 do 20 Mp (megapond = tona), pa i više. Najveći teret ovisi o dozvoljenom osovinskom pritisku na odnosnoj pruzi (vidi pod d), pri čemu treba uzeti u obzir i vlastitu težinu vagona (7 do 12 tona). Duljina vagona iznosi obično 8 do 12 m, ali za dulje tovare na raspolaganju su vagoni duljine 15 odn. 18 m i vagoni s okretnim postoljem kojima se mogu prevoziti tovari *do 30 m.*

Za tovare koji se zbog svoje težine ne mogu prevoziti normalnim dvoosovinskim vagonima, treba uzeti vagon sa više od 2 osovine (4 do 8, izuzetno do 20). Jugoslavenske željeznice raspolažu ovim specijalnim vagonima:

Vagon Tv 389: 4 osovine, tovarna ploha širine 2430 mm, duljine 4800 mm, visine 970 mm iznad gornjeg ruba tračnica; najveći teret 50 Mp.

Vagon Tv 329: 6 osovina, tovarna ploha širine 2780 mm, duljine 6700 mm, visine 1020 mm iznad tračnica; najveći teret 80 Mp.

Vagon Tv 359: 8 osovina, tovarna ploha širine 2320 mm, duljine 16 600 mm, visine 1760 mm iznad tračnica; najveći teret 80 Mp; na spuštenom dijelu tovarne plohe duljine 6000 mm i visine 1070 mm iznad tračnica najveći dozvoljeni teret iznosi 45 Mp.

Za veće terete treba zasada uzeti inozemni vagon. Tako, na primjer, transformator 150 MVA, 220 kV »Rade Končar« prevozi se 20-osovinskim vagonom duljine 43850 mm i vlastite težine 145 Mp.

Visina poda vagona uskog kolosijeka (760 mm) iznad gornjeg ruba tračnica iznosi 800 mm. Odatle i iz tovarnog profila na strani 686 mogu se odrediti najveće mjere tovara. Za teške terete Jugoslavenske željeznice raspolažu specijalnim vagonima: T 54021, 4 osovine, najveći dozvoljeni teret 22,5 Mp i T 54020, 6 osovina, najveći dozvoljeni teret 30 Mp.

d) Najveći dozvoljeni osovinski pritisci u megapondima (tonama) po osovini, sa važnošću od 1. XII 1963.*

a) Pruge normalnog kolosjieka 1435 mm: Beograd—Zagreb 18 (Beograd — Tovarnik 18,9, Tovarnik — Slavonski Brod 19, Slavonski Brod—Novska—Dugo Selo 20, Dugo Selo—Zagreb 18; Novska—Sunja 20, Sunja—Zagreb 18), Beograd—Niš—Skopje 18,9, Skopje—Gevgelija (državna granica) 16 (Skopje—Titov Veles 18, Titov Veles—Gevgelija 16), Beograd—Subotica (drž. granica) 18 (Beograd—Inđija 18,9, Inđija—Jugovićevo 20, Jugovićevo—Rumenka 18, Rumenka—Zmajevo 20, Zmajevo—Vrbas 18, Vrbas—Bačka Topola 20, Bačka Topola—Subotica 18), Beograd—Kikinda (drž. granica 14, Lapovo—Kraljevo—Skopje 16, Niš—Dimitrovgrad (drž. granica) 16, Ruma—Šabac—Zvornik 16, Zagreb—Ljubljana—Sežana (drž. granica) 18, Zagreb—Rijeka 18, (Zagreb—Srpske Moravice 18, Srpske Moravice—Rijeka 20), Škrljevo—Bakar 18, Divača—Pula 16, Oštarije—Split 16 (Oštarije—Josipdol 18, Josipdol—Gračac 16, Gračac—Knin 18, Knin—Split 20), Knin—Benkovac 18, Perković—Šibenik 16, Karlovac—Ljubljana 14, Zagreb—Koprivnica (drž. granica 16), Zagreb—Kotoriba (drž. granica) 16, (Zagreb—Zaprešić 18, Zagreb—Kotoriba 16), Vrpolje—Osijek 12, Osijek—Beli Manastir — drž. granica 16, Dalj—Osijek 20, Osijek—Varaždin 16, Zidani Most—Maribor—Šent Ilj (drž. granica) 18, Vrpolje—Sarajevo Novo 18, Sunja—Bosanski Novi 16, Bosanski Novi—Knin 18, Tuzla—Grapska 16, Grapska—Bosanski Novi 18, Vinkovci—Banovići 15, (Vinkovci—Vrapčana 18, Vrapčana—Gunja 16, Gunja—Brčko 15, Brčko—Banovići 16), Vinkovci—Subotica 16 (Vinkovci—Bogojevo 16, Bogojevo—Prigrevica 20, Prigrevica—Šebešić 16, Šebešić—Subotica 20), Titov Veles —Bitola—Kremenica (drž. granica) 16, Titograd—Bar 14.

b) Pruge uskog kolosijeka 1000 mm (npr. Osijek—Belišće—Noskovci—Podravska Slatina): Dozvoljeni pritisak za sve ove pruge je 4 tone po osovini.

c) Pruge uskog kolosijeka 760 mm: Beograd Sava—Višegrad—Bradina 8,5, Bradina—Mostar 8, Mostar—Dubrovnik 8,5, Bosanski Brod—Doboj 7,5, Doboj—Teslić 6,5, Gabela—Ploče 8, Hum—Bileće 8,5, Bileće—Titograd 8, Mladenovac—Valjevo 8,5, Paraćin—Zaječar 8,5, Zenica—Sarajevo 8.

d) Pruge uskog kolosijeka 600 mm (npr. Gostivar—Ohrid): Dozvoljeni pritisak za sve ove pruge je 3,7 tona po osovini.

Normalni formati papira

prema JUS M.A0.010/1956

411

Oznaka	Mjere mm	Površina m²	Oznaka	Mjere mm	Površina m²
4A0	1682 × 2378	4	A4	210 × 297	1/16
2A0	1189 × 1682	2	A5	148 × 210	1/32
A0	841 × 1189	1	A6	105 × 148	1/64
A1	594 × 841	1/2	A7	74 × 105	1/128
A2	420 × 594	1/4	A8	52 × 74	1/256
A3	297 × 420	1/8			

Osnovni format A0 ima površinu 1 m². Ostali formati nastaju raspolavljanjem odn. udvostručavanjem. Omjer stranica svakog formata u nizu je 1 : $\sqrt{2}$. Formati se mogu upotrebljavati uzdužno i poprečno. Za crtanje uskih i dugačkih predmeta, objekata i sličnog (npr. uzdužnog profila trase dalekovoda) može se upotrijebiti produženi format sastavljen od jednakih ili susjednih formata. Okvir crteža treba da bude udaljen od ruba papira 5 mm. Kod formata A3, A4 i A5 treba slijeva ostaviti slobodni rub od 20 mm (radi ulaganja u mapu).

Normalni formati papira propisani su za tehničke crteže, tiskanice, listovni papir i sl.

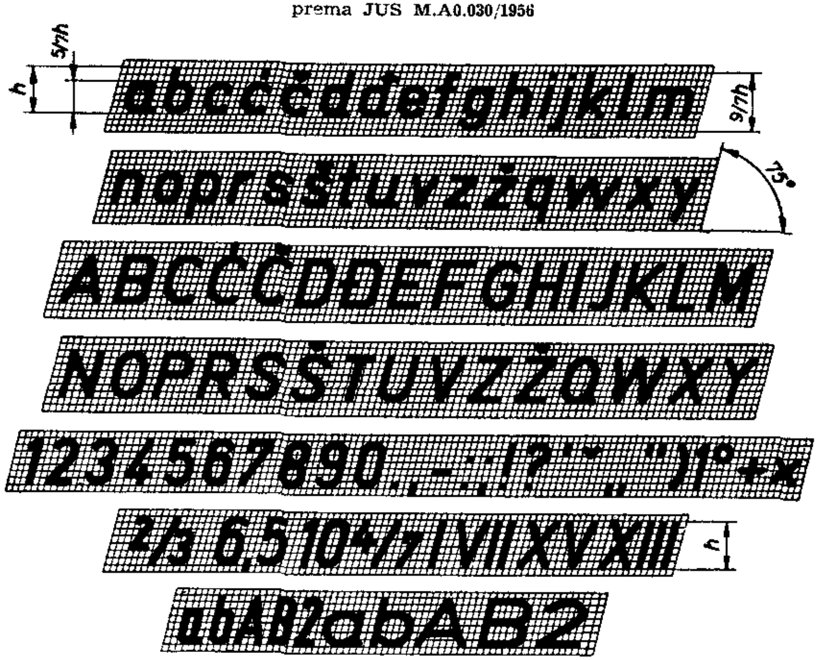
Za specijalne svrhe još se ponekad upotrebljavaju nizovi B, C i D s osnovnim formatima B0 1000×1414 mm, C0 917×1297 mm, D0 771×1090 mm.

* Vidi Tarifsko-transportni vesnik 23/63, br. 383.

412

Tehničko pismo

prema JUS M.A0.030/1956



Gore je prikazano normalno tehničko pismo, a u zadnjem retku i primjeri uskog i širokog pisma.

Nazivne visine tehničkog pisma:

h = 2 - 2,5 - 3 - 4 - 5 - 6 - 8 - 10 - 12 - 16 - 20 - 25 mm

Pojedini znaci imaju slijedeću visinu: velika slova, arapski i rimski brojevi 7/7 *h* (tj. nazivnu visinu), mala slova bez produžetka 5/7 *h*, mala slova sa produžetkom na jednom kraju (gore ili dolje, npr. *b, i, p, š*) 7/7 *h*, malo slovo *j* 9/7 *h*.

Debljina znakova uzima se obično 1/7 *h*.

Širinu znakova vidi na gornjim uzorcima.

Nagib znakova prema horizontali: 75°.

Razmaci između slova uzimaju se prema raspoloživom prostoru 1/7 *h*, ili 1,5 *h* ili 2/7 *h*. Razmak između riječi obično 4/7 *h*.

Razmak između redaka uzima se po pravilu 11/7 *h* (visina slova + međuprostor; čisti međuprostor 2/7 *h*).

Za opis crteža preporučuju se obično slijedeće visine pisma:

Za glavno pismo	mm	10	8	6
Za pomoćno pismo	mm	6	5	4
Za sporedno pismo	mm	4	3	2,5
Za kotne brojeve	mm	3 ili 4		

O izradi crteža u strojarstvu vidi JUS M.A0.010/011/012/020/030/040/050/056 072/073/074.

Standardizirana mjerila za crteže prema JUS M.A0.010/1956

413

Za prirodnu veličinu	1:1		
Za smanjenja	1:2,5 (1:2) 1:20 1:200	1:5 1:50 1:500	1:10 1:100 1:1000
Za povećanja	2:1	5:1	10:1

Vrijednost u zagradi ne preporučuje se i treba je izbjegavati.

Jugoslavenski standardi — JUS*

414

Pregled svih jugoslavenskih standarda koji su na snazi nalazi se u »Katalogu jugoslovenskih standarda« koji početkom svake godine izdaje Jugoslovenski zavod za standardizaciju. Rješenja o donošenju novih jugoslavenskih standarda objavljuju se u Službenom listu SFRJ.

Prijedlozi novih standarda objavljuju se u biltenu »Standardizacija« koji također izdaje Jugoslovenski zavod za standardizaciju.

Jugoslavenski standardi označuju se oznakama od 2 slova i 4 brojke, npr. N.B0.030. Prvo slovo označuje granu, drugo slovo glavnu grupu, prva brojka grupu standarda, a zadnje 3 brojke označuju sam standard.

Ovdje su navedene sve grane, ali samo one glavne grupe jugoslavenskih standarda koje su interesantne za korisnike ovog priručnika:

Grana A: Osnovni i opći standardi

A.A: Osnovni standardi o standardizaciji, standardni brojevi, jedinice i sl.
A.B: Fizikalna i tehnička mjerenja.

Grana B: Rudarstvo i prerada minerala, ugljena i nafte

Grana C: Metalurgija i tehnologija prerade metala

C.A: Osnovni i opći standardi za granu metalurgije i tehnologije prerade metala.
C.B: Osnovni proizvodi crne metalurgije.
C.C: Osnovni proizvodi od lakih metala i njihovih legura.
C.D: Osnovni proizvodi od bakra i drugih teško taljivih metala i njihovih legura.
C.E: Proizvodi od cinka, olova i drugih lako taljivih metala i njihovih legura.
C.F: Proizvodi od volframa i drugih teško taljivih metala i njihovih legura.
C.H: Izvedeni proizvodi crne i obojene metalurgije.
C.J: Livački proizvodi crne i obojene metalurgije.
C.K: Proizvodi crne metalurgije sa specijalnom namjenom.
C.L: Proizvodi obojene metalurgije sa specijalnom namjenom.
C.M: Sinterovani proizvodi crne metalurgije.
C.T: Tehnološki procesi prerade metala.

Grana D: Šumarstvo, drvna industrija i prerada drvenastih materija

D.A: Osnovni i opći standardi za granu šumarstva, drvne industrije i prerade drvenastih materija.
D.B: Proizvodi eksploatacije šuma (npr. stupovi za vodove).
D.C: Pilanski proizvodi, furniri, ploče.
D.T: Tehnološki postupci u šumarstvu, drvnoj industriji i pletarstvu (npr. impregnacija).

---

* Jugoslavenski standardi JUS mogu se nabaviti kod poduzeća »Naučna knjiga«, Beograd, Knez Mihajlova 40, pošt. fah 690. »Naučna knjiga« prima i pretplatu na bilten »Standardizacija«. Standardi JUS mogu se kupiti i u knjižarama u našim velikim gradovima, npr. u Zagrebu u knjižari »Mladost«, Ilica 30.

Grana E: Poljoprivreda, ribarstvo i prehrambena industrija

Grana F: Tekstilna industrija

Grana G: Proizvodi prerade kože, gume, smola, prirodnih i umjetnih (vještačkih) plastičnih masa i kostiju

G.B: Proizvodi prerade kože i krzna.
G.C: Sirovine i polufabrikati od gume, smole i plastičnih masa.
G.E: Proizvodi od gume i plastičnih masa za tehničke svrhe.
G.S: Ispitivanje kože, gume, smole i plastičnih masa i njihovih proizvoda.

Grana H: Kemijska industrija

H.N: Papir, karton i proizvodi od papira i kartona.

Grana K: Radni i mjerni alat i pribor

K.A: Osnovni i opći standardi o alatu.
K.B: Čekići, sjekire, budaci, ćuskije i sličan alat za kovanje, cijepanje i slične radnje udarcima.
K.C: Noževi, škare (makaze), čekići, dlijeta, kose, srpovi, ašovi, motike i sličan alat za sječenje.
K.D: Pile (testere), glodala, burgije, turpije i sličan rezni alat sa više oštrica (sječiva).
K.E: Probojci, šila, igle i sličan alat za probijanje.
K.F: Alat za brušenje i glačanje.
K.G: Kliješta, stege, ključevi i sličan alat za hvatanje i stezanje.
K.H: Kalupi za kovanje i prešanje, probijanje i sličan alat za oblikovanje; ploče za ravnanje, obilježavanje i sl.
K.J: Lopate, vile, grabulje, kašike i sličan alat za grabljenje i hvatanje.
K.M: Specijalni alat i pribor za preradu drveta i drvenastih materija.
K.T: Mjerni alat za gruba mjerenja.
K.Z: Razni alat i pribor.

Grana L: Mjerni aparati i proizvodi precizne mehanike

L.C: Aparati za mjerenje dužine, površine, zapremine, uglova i sl.
L.D: Aparati za mjerenje težine, pritiska, sile, napona i sl.
L.E: Aparati za mjerenje vremena, brzine, pređenog puta, izvršenog rada i sl.
L.J: Aparati za razna tehnička i laboratorijska mjerenja.
L.R: Pisaći i računski strojevi, aparati za umnožavanje i drugi aparati birotehnike i široke potrošnje.

Grana M: Strojogradnja (mašinogradnja) i metalna industrija

M.A: Osnovni i opći standardi za granu strojogradnje i metalne industrije.
M.B: Vijci, zakovice i ostali elementi za spajanje.
M.C: Strojni (mašinski) elementi.
M.D: Radni strojevi i uređaji univerzalnog tipa.
M.E: Termoenergetski uređaji.
M.F: Strojevi za transformaciju energije.
M.G: Strojevi i uređaji za obradu metala skidanjem strugotina.
M.J: Specijalni strojevi i uređaji i drugi metalni proizvodi za rudarstvo i industriju metalnih proizvoda i za građevinarstvo i zemljane radove.
M.K: Strojevi, uređaji i razni metalni proizvodi za šumarstvo, drvnu industriju i preradu drvenastih materija.
M.L: Strojevi, uređaji i razni metalni proizvodi za poljoprivredu, prehrambenu industriju, kemijsku industriju i industriju prerade nafte.
M.M: Strojevi, uređaji i razni metalni proizvodi za industriju vlaknatih tvari, kože, gume, smole i plastičnih masa.
M.N: Cestovna vozila.
M.T: Metalni proizvodi za vatrogastvo (izuzev vozila) i za službu zaštite zdravlja.
M.U: Aparati i uređaji za reguliranje rada strojeva.
M.Z: Razni strojevi, uređaji i drugi metalni proizvodi.

Grana N: Elektrotehnika i elektroindustrija

N.A: Osnovni i opći standardi iz elektrotehnike i elektroindustrije.
N.B: Proizvodnja, prijenos i distribucija električne energije.
N.C: Električni vodiči (provodnici).
N.E: Materijal za električne instalacije.
N.F: Materijal za električne nadzemne i podzemne vodove niskog i visokog napona.
N.G: Električni rotacioni strojevi.
N.H: Transformatori, usmjerivači i slične naprave.

N.J: Galvanski elementi, akumulatori i kondenzatori.
N.K: Naprave za uključivanje.
N.L: Električne sijalice i svjetiljke.
N.M: Elektrotehnički proizvodi za potrebe kućanstva.
N.N: Telegraf, telefon i signalni aparati.
N.P: Električna aparatura na vozilima.
N.R: Radio-tehnika.
N.S: Specijalni električni strojevi, uređaji i aparati za industrijske i medicinske svrhe.
N.Z: Razni proizvodi elektroindustrije.

Grana P: Uređaji, postrojenja i vozila šinskog saobraćaja

P.F: Zajednički elementi šinskih vozila.
P.G: Kočioni uređaji šinskih vozila.
P.K: Električne lokomotive.
P.L: Motorne lokomotive, drezine i pogonski uređaji motornih kola.
P.M: Tramvajska motorna kola i prikolice.

Grana R: Brodogradnja i postrojenja riječnog i pomorskog saobraćaja

Grana S: Zrakoplovna saobraćajna sredstva, uređaji i postrojenja

Grana Z: Standardi koji ne ulaze ni u jednu posebnu granu standardizacije

Z.B: Lična zaštitna sredslva.
Z.C: Vatrogastvo.

Preporuke Međunarodne elektrotehničke komisije — IEC **415a**

Međunarodna elektrotehnička komisija – IEC* međunarodna je organizacija osnovana 1906. godine sa sjedištem u Londonu. Nakon drugog svjetskog rata (1947) sjedište joj je premješteno u Ženevu i ona je formalno ušla u sklop Međunarodne organizacije za standardizaciju (ISO), zadržavajući međutim svoju tehničku i financijsku autonomiju. Članovi IEC-a su praktički sve evropske države, SAD, Kanada, Brazil, Argentina, Kina, Indija, Australija i dr.

Stručni rad IEC-a odvija se po tehničkim odborima i pododborima koji se sastaju s vremena na vrijeme, a koji okupljaju predstavnike odgovarajućih tehničkih odbora odn. pododbora nacionalnih komiteta država članica IEC-a. Našu zemlju predstavlja u IEC-u Jugoslovenski zavod za standardizaciju. Sa Jugoslovenskim zavodom za standardizaciju surađuje Jugoslavenski elektrotehnički komitet (JEK). JEK formira tehničke odbore odn. pododbore (vidi stranu 692) koji odgovaraju tehničkim odborima odn. pododborima IEC-a.

IEC izdaje međunarodne p r e p o r u k e (ne standarde). Tekst preporuke izrađuje nadležni tehnički odbor i taj tekst treba da odobri barem četiri petine država članica prije nego što on može biti publiciran kao preporuka IEC. Preporuke IEC nisu formalno obavezne za države članice, ali ih države članice praktički prihvaćaju kao osnov sa svoju standardizaciju. Jugoslavenski standardi iz područja elektrotehnike bazirani su, gdje god je to moguće, na preporukama IEC.

Preporuke IEC izdaju se u obliku publikacija koje imaju svoj redni broj. Izdaju se u dva dvojezična izdanja: francusko-engleskom i rusko-engleskom. Popis publikacija IEC može se naći u »Katalogu jugoslovenskih standarda« koji svake godine izdaje Jugoslovenski zavod za standardizaciju.

Preporuke Međunarodne organizacije za standardizaciju — ISO** **415b**

ISO, kao i IEC, okuplja veliki broj država. Sjedište mu je u Ženevi. Našu zemlju predstavlja u ISO-u Jugoslovenski zavod za standardizaciju.

Stručni rad odvija se po tehničkim odborima i pododborima, slično kao u IEC-u.

ISO izdaje, kao i IEC, međunarodne preporuke (ne standarde) koje doduše nisu formalno obavezne za države članice, ali služe kao osnov za izradu nacionalnih standarda. Jugoslavenski standardi baziraju se, gdje god je to moguće, na preporukama ISO.

Popis publikacija ISO može se naći u »Katalogu jugoslovenskih standarda« koji svake godine izdaje »Jugoslovenski zavod za standardizaciju.«

---

* IEC je kratica engleskog naziva International Electrotechnical Commission. Kratica francuskog naziva Commission Électrotechnique Internationale je CEI.

** ISO je kratica engleskog naziva International Standards Organisation.

416 Jugoslavenski elektrotehnički komitet (JEK)

Osnovni zadaci JEK-a jesu izrada jugoslavenskih standarda i suradnja – preko Jugoslavenskog zavoda za standardizaciju – sa Internacionalnom elektrotehničkom komisijom (IEC). Stručni rad se odvija u tehničkim odborima od kojih su mnogi formirali tehničke pododbore. U niže navedenom pregledu navedeni su broj i predmet rada tehničkog odbora (TO) odnosno tehničkog pododbora (TPO), odnosno radne grupe (RG), poduzeće odn. ustanova koja drži sekretarijat odbora, srekretar odbora odn. pododbora, adresa ili poštanski pretinac (fah).

TO-1: **Nomenklatura,** Elektrotehnička zveza Slovenije, (France Mlakar), Ljubljana, Erjavčeva 15a.

TO-2: **Rotacioni strojevi,** »Rade Končar«, (Zvonko Sirotić), Zagreb, p. p. 304.

TPO-2A: **Turbogeneratori,** »Rade Končar«, (Zvonko Sirotić), Zagreb, p. p. 304.

TPO-2B: **Dimenzije električnih strojeva,** »Rade Končar«, (Zlatko Petrović), Zagreb, p. p. 304.

TPO-2C: **Klasifikacija izolacionog materijala,** »Rade Končar«, (Vera Hršak), Zagreb, p. p. 304.

TPO-2D: **Gubici i korisnost,** Elektrotehnički institut poduzeća »Rade Končar«, (Vojislav Bego), Zagreb, p. p. 304.

TPO-2E: **Ispitivanje udarnim naponom,** »Rade Končar«, (Predoje Zubović), Zagreb, p. p. 304.

TPO-2F: **Mjere ugljenih četkica,** »Rade Končar«, (Zlatko Smolčić), Zagreb, p. p. 304.

TPO-2G: **Veličine sinhronih strojeva,** kao TPO-2E.

TPO-2H: **Tipovi kućišta i način hlađenja,** »Rade Končar«, (Zlatko Petrović), Zagreb, p. p. 304.

TO-3: **Grafički simboli,** Elektrotehnički fakultet, Zavod za visoki napon, (Božidar Stefanini), Zagreb, Unska b. b.

TO-4: **Hidraulične turbine,** »Litostroj«, (Leopold Šolc), Ljubljana, p. p. 245.

TO-5: **Parne turbine,** Industrijski projektni zavod, (Milan Jenčić), Zagreb, Rrg Republike 1/III.

TO-7: **Neželjezni metali i legure neželjeznih metala,** Inštitut za elektriško gospodarstvo, (Marijan Plaper), Ljubljana, p. p. 285.

TO-8: **Standardni naponi, struje i frekvencije,** Institut za elektroprivredu, (Dragutin Kaiser), Zagreb, p. p. 304.

TO-9: **Oprema za električnu vuču,** Biro za elektrifikaciju Zajednice jugoslovenskih železnica, (Radojko Vuličević), Beograd, Nemanjina 6/II.

TPO-9A: **Železnička električna vozila,** Biro za elektrifikaciju Zajednice jugoslovenskih železnica, (funkcija sekretara nepopunjena), Beograd, Nemanjina 6/II.

TPO-9B: **Železnička električna kontaktna mreža,** Biro za elektrifikaciju Zajednice jugoslovenskih železnica, (Radomir Savić), Beograd, Nemanjina 6/II.

TPO-9C: **Železničke električne podstanice,** Biro za elektrifikaciju Zajednice jugoslovenskih železnica, (Ljubomir Jovanović), Beograd, Nemanjina 6/II.

TO-10: **Izolaciona ulja,** Inštitut za elektriško gospodarstvo, (Stana Muren), Ljubljana, Hajdrihova 22.

TO-12: **Radiokomunikacije,** »Pionir«, (Zoran Ranić), Beograd, Milorada Bondžulića br. 1.

TPO-12A: **Radioprijemnici i televizori,** »Nikola Tesla«, (Miodrag Zorić), Beograd, p. f. 882.

TPO-12B: **Sigurnost (bezbjednost),** Institut »Mihajlo Pupin«, (Bogosav Kovačević), Beograd, p. f. 906.

TPO-12C: **Radiodavači,** »Radioindustrija«, (Šime Torbarina), Zagreb, p. p. 176.

TO-13: **Mjerni instrumenti,** Zavod za avtomatizacijo, sektor I, (France Mlakar), Ljubljana, Tržaška c. 2.

TPO-13A: **Električna brojila,** Zavod za avtomatizacijo, sektor I, (Franc Levovnik), Ljubljana, Tržaška c. 2.

TPO-13B: **Električni instrumenti,** *Zavod za avtomatizacijo, sektor I, (Jože Jekovec),* Ljubljana, Tržaška c. 2.

TPO-13C: **Elektronski instrumenti,** Zavod za avtomatizacijo, sektor I, (Bojan Osojnik), Ljubljana, Tržaška c. 2.

TO-14: **Energetski transformatori,** Elektrotehnički institut poduzeća »Rade Končar«, (Velimir Cihlar), Zagreb, p. p. 304.

TPO-14A: **Magnetni limovi,** »Rade Končar«, (Vladimir Bek), Zagreb, p. p. 304.

TPO-14B: **Regulacione sklopke,** Elektrotehnički institut poduzeća »Rade Končar«, (Vladimir Jurjević), p. p. 304.

TO-15: **Izolacioni materijal,** Institut »Nikola Tesla«, (Vladeta Knežević), Beograd, p. f. 139.

TO-16: **Označavanje krajeva namota i druge oznake za raspoznavanje,** »Rade Končar«, (Marijan Dobričević), Zagreb, p. p. 304.

TO-17: **Prekidači,** Elektrotehnički institut poduzeća »Rade Končar«, (Boris Belin), Zagreb, p. p. 304.

TPO-17A: **Aparati visokog napona,** kao TO-17.

TPO-17B: **Aparati niskog napona,** Elektrotehnički institut poduzeća »Rade Končar«, (Vladimir Jurjević), Zagreb, p. p. 304.

TO-18: **Brodske električne instalacije i uređaji,** »Rade Končar«, Sektor za brodogradnju, (Krunoslav Jakovlić), Rijeka, p. p. 348.

TO-19: **Motori sa unutrašnjim sagorijevanjem,** »Jugoturbina«, (Bojan Kancler), Karlovac.

TO-20: **Električni kabeli,** Fabrika kablova »Moša Pijade«, (Svetozar Carević), Svetozarevo.

TPO-20A: **Kabeli izolirani papirom,** Fabrika kablova »Moša Pijade«, (Jovan Opačić), Svetozarevo.

TPO-20B: **Kabeli niskog napona izolovani gumom ili p. v. c.-om,** kao TPO-20A.

TPO 20E: **Kabeli i provodnici za elektroenergetiku,** Fabrika kablova »Moša Pijade«, (Milan Predić), Svetozarevo.

TPO 20T: **Kabeli i provodnici,** Fabrika kablova »Moša Pijade«, (Dragutin Penčić), Svetozarevo.

TPO 20P: **Kabelski pribor,** Fabrika kablova »Moša Pijade«, (Igor Nicenko), Svetozarevo.

TO-21: **Akumulatori,** Zavod za avtomatizacijo, (funkcija sekretara nepopunjena), Ljubljana, Miklošičeva 28.

TO-22: **Usmjerivači,** Elektrotehnički institut poduzeća »Rade Končar«, (Zlatko Plenković), Zagreb, p. p. 304.

TPO-22A: **Živini usmjerivači,** kao TO-22.

TPO-22B: **Poluvodični usmjerivači,** kao TO-22.

TO-23: **Instalacioni pribor,** Elektrotehnična zveza Slovenije, (Janez Žepić), Ljubljana, Erjavčeva 15a.

TO-24: **Električne i magnetske veličine i jedinice,** Elektrotehnički fakultet, (Miodrag Ranojević), Beograd Kaćanskog ul. 17.

TO-25: **Slovni simboli i znaci,** Elektrotehnički fakultet, (Miodrag Ranojević), Beograd, Kaćanskog ul. 17.

TO-26: **Električno zavarivanje,** Istraživačko-razvojni centar za elektro-energetiku preduzeća »Energoinvest« Studijski biro, (Džemal Humo), Mostar, Adema Buče 22.

TO-27: **Industrijsko električno grijanje,** »CER«, (Vladimir Risimović), Čačak.

TO-28: **Koordinacija izolacije,** Inštitut za elektriško gospodarstvo, (Edvard Höfler), Ljubljana p. p. 285.

TO-29: **Elektroakustika,** Elektrotehnički fakultet, (Aleksandar Damjanović), Beograd, p. f. 816.

TPO-29A: **Snimanje zvuka,** Jugoslovenska radiotelevizija, (Milorad Marjanović), Beograd, Hilendarska 2.

RG-29-3: **Tonfrekventni uređaji,** »Iskra«, (Igor Kloar), Kranj.

RG-29-5: **Zvučnici,** Zavod za avtomatizacijo, (Petar Srakar), Ljubljana, Rimska cesta 23.

RG-29-7: **Ultrazvuk,** Elektronska industrija, pogon »Avala«, (Branko Cerovac), Beograd, Imotska 1.

RG-29-8: **Mjerenje zvuka,** kao TO-29.

RG-29-9: **Udari i vibracije,** Vojna pošta 30-70 (sekretar još nije određen), Žarkovo.

RG-29-12: **Pisani simboli u elektroakustici,** kao TO-29.

TO-30: **Vrlo visoki napon,** Jugoslovenska CIGRE, Elektrotehnički fakultet, Zavod za visoki napon, (Božidar Stefanini), Zagreb, Unska b. b.

TO-31: **Eksploziono zaštićeni električni uređaji,** Elektrotehnički institut poduzeća »Rade Končar«, (Nenad Marinović), Zagreb, p. p. 304.

TO-32: **Osigurači,** Istraživačko-razvojni centar za elektroenergetiku preduzeća »Energoinvest«, (Aleksandar Manoilov), Sarajevo, p. f. 158.

TO-33: **Kondenzatori snage,** »Elektrosrbija« - Fabrika elektroopreme Ripanj, (Vojmir Stevanović), Ripanj kod Beograda.

TO-34: **Sijalice i pribor,** »Tesla«, (Ljudmila Andrijević), Pančevo, Paje Marganovića 54-a.

TPO-34A: **Sijalice,** kao TO-34.

TPO-34B: **Podnožja i grla,** kao TO-34.

TPO-34C: **Pomoćni uređaji i pribor,** »*Elektrokovina*«, (Vlado Planinšek), Maribor–Tezno, p. p. 75.

TPO-34D: **Svjetiljke,** »Elektrokovina«, (Jože Kren), Maribor–Tezno, p. p. 75.

TO-35: **Elementi i baterije,** IPR-Industrija proizvoda za rasvjetu, (Mirko Barišić), Zagreb, Koturaška 69.

TO-36: ***Izolatori,*** *Elekrotehnički institut »Nikola Tesla«, (Dejan Skendžić)*, Beograd, p. f. 139.

TPO-36A: **Provodni izolatori,** Elektrotehnički institut »Nikola Tesla«, (Predrag Duduković), Beograd, p. f. 139.

TPO-36B: ***Tučak (batić) i gnijezdo za viseće izolatore,*** Elektrotehnički institut *»Nikola Tesla«, (Ljubiša Milanković), Beograd, p. f. 139.*

TO-37: **Odvodnici prenapona,** Elektrotehnički institut »Nikola Tesla«, (Miodrag Cvetković), Beograd p. f. 139.

TO-38: **Mjerni transformatori,** Elektrotehnički institut poduzeća »Rade Končar«, *(Tomislav Kelemen), Zagreb, p. p. 304.*

TO-39: **Elektronske cijevi,** »Elektronska industrija«, (Danica Veljković), Niš, p. f. 79.

TPO-39/48: **Grla i pribor za elektronske cijevi,** »Elektronska industrija«, (Živorad Stojković), Niš, p. f. 79.

TO-40: ***Kondenzatori i otpornici za telekomunikacione uređaje (elektronske),*** »Elektronska industrija«, pogon »Avala«, (Branko Cerovac), Beograd, Imotska 1.

TO-41: **Električni releji,** Zavod za avtomatizacijo – sektor IV, (Anton Ogorelec), Ljubljana, Tržaška c. 2.

TO-42: ***Tehnika ispitivanja visokim naponom,*** *Elektrotehnički institut poduzeća* »Rade Končar«. (Milan Cvjetičanin), Zagreb, p. p. 304.

TO-43: **Električni ventilatori,** »Elektrokovina«, (Ivo Pignar), Maribor–Tezno, p. f. 75.

TO-44: ***Električna oprema za alatne strojeve,*** »Rade Končar«, (Ozren Pelicarić), Zagreb, p. p. 304.

TO-45: **Električni mjerni instrumenti u vezi sa ionizirajućim zračenjem,** Institut za nuklearne nauke »Boris Kidrič«, (Slobodan Muždeka), Beograd–Vinča, p. f. 522.

TO-46: ***Kablovi, žice i talasovodi za telekomunikacione uređaje,*** »Rudi Čajavec«, (Olivera Josifović), Banja Luka, Braće Pavlića 25, p. f. 47.

TO-47: **Poluvodične naprave,** Zavod za avtomatizacijo – Oddelek za polvodnike, (Matije Seliger), Ljubljana, Hajdrihova 19.

TO-48: **Elektromehanički sastavni dijelovi za telekomunikacione uređaje,** Zavod za avtomatizacijo, *(Žarko Zavrl), Ljubljana, Tržaška 2.*

TO-49: **Piezoelektrički kristali i pripadajući uređaji,** Institut »Mihajlo Pupin«, (Miodrag Miljković). Beograd, p. f. 76.

TO-50: **Klimatska i mehanička ispitivanja za telekomunikacione sastavne dijelove i materijal,** Zavod za avtomatizaciju, (Tomaž Planina), Ljubljana, Tržaška 2.

TO-51: **Feromagnetni materijal,** Zavod za avtomatizacijo – Biro za standardizacijo, (Jože Štajer), Ljubljana, Tržaška 2.

TO-52: **Štampani strujni krugovi,** Zavod za avtomatizacijo – Biro za standardizacijo, (Janez Primožić), Ljubljana, Tržaška 2.

TO-53: ***Računari i obrada informacija,*** Savezni zavod za statistiku, (Milan Žokalj), Beograd, p. f. 203.

TO-54: **Rashladni uređaji za domaćinstva,** formiranje u toku.

TO-55: **Žice za namote,** Fabrika kablova »Moša Pijade«, (Dragoljub Jovanović), Svetozarevo.

TO-CISPR ***Radio-smetnje,*** Sekretarijat za saobraćaj i veze Saveznog izvršnog vijeća, Uprava za radio-saobraćaj, (Radenko Vasiljević), Beograd.

TO-CEE **Niskonaponska oprema instalacija i kućanskih aparata,** Elektrotehnična zveza Slovenije, (Ivan Ahtik), Ljubljana, Erjavčeva 15-a.

Savez mašinskih i elektrotehničkih inženjera i tehničara Jugoslavije 417

Njegovi članovi, organi i komisije

Savez mašinskih i elektrotehničkih inženjera i tehničara Jugoslavije — Beograd, Moše Pijade 12/V.

Savez mašinskih i elektrotehničkih inženjera i tehničara Srbije — Beograd, Kneza Miloša 7.

Savez strojarskih inženjera i tehničara Hrvatske — Zagreb, Berislavićeva 6.

Savez elektrotehničkih inženjera i tehničara Hrvatske — Zagreb, Berislavićeva 6.

Zveza strojnih inženirjev in tehnikov Slovenije — Ljubljana, Erjavčeva 15a.

Elektrotehnična zveza Slovenije — Ljubljana, Erjavčeva 15a.

Savez mašinskih i elektrotehničkih inženjera i tehničara Bosne i Hercegovine — Sarajevo, Obala 20.

Sojuz na mašinskite i elektrotehničkite inženeri i tehničari na Makedonija — Skopje, Hriste Botev 34.

Savez mašinskih i elektrotehničkih inženjera i tehničara Crne Gore — Titograd, Njegoševa 6.

Jugoslavenski elektrotehnički komitet (JEK) — Ljubljana, poštanski pretinac 600.

Jugoslavenski nacionalni komitet CIGRE — Zagreb, Berislavićeva 6.

Jugoslavenski nacionalni komitet svetske konferencije za energiju — Novi Beograd, pošta 25, zgrada SIV-a.

Jugoslavenski komitet za elektroniku, telekomunikacije, automatizaciju i nuklearnu tehniku (ETAN) — Beograd, Kolarčeva 1/IV, u čijem se sastavu nalazi: Međunarodna organizacija za automatsku regulaciju (IFAC) i Odbor međunarodnog naučnog saveza za radio (URSI).

Jugoslavenski komitet za osvetljenje — Zagreb, Martićeva 46/IV.

Jugoslavenski komitet za elektrotermiju i elektrohemiju — Beograd, Moše Pijade 12/V.

Jugoslavensko društvo termičara — Beograd, poštanski fah 71.

Jugoslavenski komitet za vakuumsku tehniku — Ljubljana, Erjavčeva 15a.

Jugoslavenski komitet za opremu u procesnoj industriji — Zagreb, Berislavićeva 6.

Jugoslavenski centar za elektrifikaciju poljoprivrede i sela — Beograd, Moše Pijade 12/V.

Jugoslavenski centar za brodsku elektrotehniku i strojarstvo — Rijeka, Blaža Polića 2 (»Rade Končar«).

Savezni centar za primjenu goriva i maziva — Zagreb, Socijalističke Revolucije 37/IV.

Jugoslavenski centar za transport u industriji — Ljubljana, Erjavčeva 15a.

Savezni centar za motore i motorna vozila — Beograd, Moše Pijade 12/V.

Savezni centar za održavanje i modernizaciju mašina alatki — Novi Sad, Školska 3.

Komisija za znak kvaliteta — Zagreb, Berislavićeva 6.

Komisija za tehničke propise — Ljubljana, Erjavčeva 15a.

Komisija za mašinsku i elektrotehničku terminologiju — Beograd, Moše Pijade 12/V.

Komisija za naučno-istraživački rad — Beograd, Moše Pijade 12/V.

Komisija za produktivnost rada — Beograd, Moše Pijade 12/V.

Komisija za stručnu štampu — Beograd, Moše Pijade 12/V.

Komisija za kadrove i školstvo — Beograd, Moše Pijade 12/V.

418 Znak kvaliteta SMEJ

za proizvode iz oblasti strojarstva i elektrotehnike

Na osnovu Uredbe o znaku kvaliteta (Službeni list FNRJ br. 30/62, str. 592) Sekretarijat Saveznog izvršnog vijeća za industriju svojim rješenjem broj 1121/1 od 3. IX 1963. ovlastio je Savez mašinskih i elektrotehničkih inženjera i tehničara Jugoslavije (SMEITJ) da izdaje znak kvaliteta za proizvode iz područja strojarstva (mašinstva) i elektrotehnike.

O postupku za dodjeljivanje prava upotrebe znaka kvaliteta SMEJ SMEITJ je izdao pravilnik i poslovnik (vidi str. 701). Proizvodna organizacija se sa svojim zahtjevom obraća Tehničkoj komisiji teritorijalno nadležnog republičkog saveza elektrotehničkih (odn. mašinskih i elektrotehničkih) inženjera i tehničara (adrese vidi na strani 693).

Znak kvaliteta SMEJ izdaje se za ove proizvode iz oblasti elektrotehnike:

- Materijal za električne instalacije niskog napona.
- Materijal za električnu rasvjetu (sijalice, svjetiljke, pribor).
- Električni aparati za domaćinstvo (kućanski aparati), poslovne prostorije, ugostiteljstvo, kozmetiku i higijenu.
- Električni strojevi i električni aparati za seljačko gospodarstvo.
- Električni alat.
- Elektrotermičke naprave priključne snage do 100 kW.
- Telekomunikacioni i elektronski aparati i pribor široke upotrebe (radio-prijemnici, gramofoni, magnetofoni, diktafoni, televizijski prijemnici, telefonski aparati, elektronke, transformatori, dijelovi radio- i televizijskih prijemnika i drugo).
- Materijal za električne instalacije visokog napona do 24 kV.
- Oprema i pribor za energetske i telekomunikacione nadzemne vodove.
- Goli i izolirani vodovi i kabeli.
- Elektromotori do 100 kW.
- Transformatori do 1000 kVA i 24 kV.
- Kondenzatori za popravak faktora snage do 100 kilovara.
- Elektroizolacioni materijal.
- Ostali elektrotehnički proizvodi široke upotrebe.

419 Garantni list, tehnička uputa i servis za elektrotehničke proizvode široke upotrebe

Naredba o određivanju posebnih uvjeta pod kojima se mogu stavljati u promet pojedini industrijski proizvodi (Službeni list FNRJ br. 17/62, str. 308) traži da je proizvod snabdjeven garantnim listom i tehničkom uputom te da su prethodno osigurani servisno održavanje i popravci proizvoda kao i potrebne količine rezervnih dijelova. Ovo se odnosi na ove proizvode elektroindustrije: Elektrotermički aparati, hladnjaci (frižideri) i ostali rashladni uređaji, ostali električni aparati (usisači za prašinu, aparati za glačanje parketa, aparati za pranje, cijeđenje i sušenje rublja, aparati za pranje suđa, strojevi za mljevenje mesa, maka, kave i oraha, mikseri i ostali aparati za kućanstvo, aparati za brijanje i sušenje kose i ventilatori), elektroakustični aparati (radio-prijemnici, televizijski prijemnici, gramofoni, magnetofoni i ostali akustički aparati široke potrošnje), telefonski aparati za paljenje i gašenje rasvjete u izlozima i svijetlećih reklama, stabilizatori i regulatori napona, teleprinteri, stubišni automati, muzički automati.

Kratice jugoslavenskih organizacija i standarda

DIT — Društvo inženjera i tehničara.
ĐĐ — »Đuro Đaković«, Slavonski Brod.
EI — Elektronska industrija, Niš.
EI — Energoinvest, Sarajevo.
EKA — Poslovno udruženje za proizvodnju električnih kućanskih aparata, Zagreb.
ELES — Elektrogospodarska skupnost Slovenije, Ljubljana.
ELKO — Elektrokovina, tovarna elektrokovinskih izdelkov, Maribor—Tezno.
ELZAM — Zaednica na elektrostopanskite pretprijatija na Makedonija, Skopje.
EM — Elektroindustrija in splošna montaža (prije Hidromontaža), Maribor.
ES — Elektrosrbija, Beograd.
ETAN — Jugoslavenski komitet za elektroniku, telekomunikacije, automatizaciju i nuklearnu tehniku, Beograd (vidi stranu 693).
EZS — Elektrotehnična zveza Slovenije, Ljubljana.
FEP — Fabrika elektroporcelana, Novi Sad.
FKS — Fabrika kablova »Moša Pijade«, Svetozarevo.
IEA — Industrija elektroporcelana, Aranđelovac.
IMPOL — Industrija metalnih polizdelkov, Slovenska Bistrica.
INGRA — Poslovno udruženje za projektiranje, izgradnju i prodaju energetskih i industrijskih postrojenja i opreme, Zagreb. (Kratica potječe od ranijeg naslova Industrijsko-građevna zajednica.)
IPR — Industrija proizvoda za rasvjetu (prije »TEŽ-Croatia«), Zagreb.
JAZU — Jugoslavenska akademija znanosti i umjetnosti, Zagreb.
JEK — Jugoslavenski elektrotehnički komitet (vidi strane 691 i 192).
JIB — Jugoslavenska investiciona banka.
JKO — Jugoslovenski komitet za osvjetljenje, Zagreb.
JUGEL — Zajednica jugoslavenske elektroprivrede, Beograd.
JUREMA — Jugoslavenski seminar za regulaciju, mjerenje i automatizaciju, Zagreb.
JUS — Jugoslavenski standard.
JZS — Jugoslavenski zavod za standardizaciju, Beograd.
JŽ — Jugoslavenske željeznice.
MARIS — Mariborska industrijska skupnost, Maribor.
MIN — Mašinska industrija Niš.
OZ — Osiguravajući zavod (prije DOZ — Državni osiguravajući zavod).
RK — »Rade Končar«, Zagreb.
SAN — Srpska akademija nauka, Beograd.
SEITH — Savez elektrotehničkih inženjera i tehničara Hrvatske, Zagreb.
SKNE — Savezna komisija za nuklearnu energiju, Beograd.
SITJ — Savez inženjera i tehničara Jugoslavije, Beograd.
SIV — Savezno izvršno vijeće, Beograd.
SMEIT — Savez mašinskih i elektrotehničkih inženjera i tehničara (SMEITJ — Jugoslavije, SMEITS — Srbije, SMEIT BiH — Bosne i Hercegovine, SMEITM — Makedonije, SMEIT CG — Crne Gore).
SMEJ — Znak kvaliteta koji izdaje Savez mašinskih i elektrotehničkih inženjera i tehničara Jugoslavije (vidi str. 696).
SPK — Savezna privredna komora, Beograd.
SZS — Savezni zavod za statistiku, Beograd.
TEP — Tvornica električnih proizvoda, Zagreb — Vrapče.
TEŽ — Tvornica električnih žarulja, Zagreb (sada spojena sa tvornicom Croatia, Zagreb, u jedno poduzeće IPR-Industrija proizvoda za rasvjetu.
TPK — Tvornica parnih kotlova, Zagreb.
TUP — Tvornica ugljenografitnih proizvoda »Nikola Mašanović«, Dubrovnik.
UIPEŽ — Udružena industrijska poduzeća za elektrifikaciju željeznica.
UNO — Poslovno udruženje za projektiranje, proizvodnju i montažu nuklearne opreme i postrojenja (skraćeno: Udruženje za nuklearnu opremu), Beograd.
ZEP — Zajednica elektroprivrednih preduzeća (poduzeća) (ZEPS — Srbije, ZEPH — Hrvatske, ZEP BiH — Bosne i Hercegovine, ZEP CG — Crne Gore).

421 Kratice stranih organizacija i standarda

ABS — Association Belge de Standardisation (Belgijsko udruženje za standardizaciju).
AEF — Ausschuss für Einheiten und Formelgrössen (Odbor za jedinice i oznake u formulama). Organ VDE-a, Njemačka.
AEI — Associazione Elettrotecnica Italiana (Talijansko elektrotehničko udruženje).
AFNOR — Assotiation Française de Normalisation (Francusko udruženje za standardizaciju).
AIEE — American Institute of Electrical Engineers (Američki institut inženjera elektrotehnike).
ANIDEL — Associazione Nazionale Imprese Distributrici di Energia Eletrica (Nacionalno udruženje poduzeća za distribuciju el. energije, Italija).
ASA — American Standards Association (Američko udruženje za standardiz.)
ASE — Association Suisse des Électriciens (Švicarsko elektrotehničko udruženje, franc. naziv).
ASME — American Society of Mechanical Engineers (Američko društvo strojarskih inženjera).
ASTM — American Society for Testing Materials (Američko društvo za ispitivanje materijala).
BEA — British Electricity Authority (Brit. uprava za elektroprivredu).
BEAMA — British Electrical and Allied Manufacturers Association (Britansko udruženje elektrotehničkih i srodnih proizvođača).
BIE — Bureau International Électrothérmique (Internacionalni ured za elektrotermiju).
BIPM — Bureau Internaticnal de Poids et Mesures (Internacionalni ured za utege i mjere).
BS — British Standard (britanski standard).
BSI — British Standards Institution (Brit. ustanova za standardizaciju).
BSS — British Standard Specification (britanski standard).
CCE — Comité Consultatif d'Électricité (Savjetodavni komitet za elektriku). Organ Internac. komiteta za utege i mjere sa sjedištem u Parizu.
CCIR — Comité Consultatif International Radiòphonique (Internacionalni savjetodavni komitet za radio).
CCITT — Comité Consultatif International Télégraphique et Teléphonique (Internacionalni savjetodavni komitet za telegrafiju i telefoniju).
CEB — Central Electricity Board (Centralni elektroprivredni ured. Vel. Brit.)
CEE — Commission Internationale pour le Contrôle de l'Équipment Électrique (Internac. komisija za kontrolu električkih postrojenja).
CÉE — Commission Économique pour l'Europe (Ekonomska komisija za Evropu Ekonomskog i socijalnog vijeća Ujedinjenih naroda, sjedište u Ženevi).
CEI — Commission Électrotechnique Internationale (Internacionalna elektrotehnička komisija — franc. naziv). Vidi IEC.
CEI — Comitato Elettrotecnico Italiano (Talijanski elektrotehnički komitet).
CIE — Commission Internationale de l' Éclairage (Internacionalna komisija za rasvjetu).
CIGRÉ — Conférence Internationale des Grands Réseaux Électriques (Internacionalna konferencija za velike električne mreže). Sastaje se svake druge godine u Parizu.
CIOS — Comité International de l'Organisation Scientifique (Internacionalni komitet za naučnu organizaciju).
CIPM — Comité International des Poids et Mesures (Internacionalni komitet za utege i mjere, sa sjedištem u Parizu). Organ Generalne konferencije za utege i mjere, koja se sastaje s vremena na vrijeme.
CNR — Consiglio Nazionale delle Ricerche (Nacionalno vijeće za istraživanja, Italija).
ČSN — Československa Společnost Normalisačni (Čehoslovačko udruženje za standardizaciju).
DIN — Kratica izreke: »Das ist Norm« (To je standard). Prije je ta kratica značila: Deutsche Industrie-Norm (Njemački industrijski standard).
EBU — European Broadcasting Union (Evropska unija za radiofoniju).
EEI — Edison Electric Institute (Edisonov električki institut, SAD).
ESČ — Elektrotechnický Svaz Českolovenský (Čehosl. el.-tehnički savez).
FID — Fédération Internationale de la Documentation (Internacionalna organizacija za dokumentaciju).
GOST — Gosudarstvenyj (državni) općesavezni standard SSSR-a.
ICI — International Commission on Illumination (Međunarodna komisija za rasvjetu, engl. naziv za CIE).

IEC — International Electrotechnical Commission (Internacionalna elektrotehnička komisija). Osnovana 1906. god. sa sjedištem u Londonu do 1948. kad je preseljena u Ženevu, formalno u okvir ISO-a.

IEE — Institution of Electrical Engineers (Institucija elektrotehničkih inženjera, Vel. Britanija).

ISA — International Federation of the National Standardizing Associations (Internacionalni savez nacionalnih udruženja za standardizaciju). Ovu je organizaciju poslije 2. svjetskog rata zamijenio ISO.

ISO — International Standards Organisation (Internacionalna organizacija za standardizaciju, sjedište u Ženevi).

ITU — International Telecommunication Union (Internacionalna unija za telekomunikacije).

NBS — National Bureau of Standards (Nacionalni ured za standarde, glavna američka metrološka ustanova).

NEMA — National Electrical Manufacturers Association (Nacionalno udruženje elektrotehničkih proizvođača, SAD).

NF — Norme Française (Francuski standard).

NSC — National Safety Council (Nacionalno vijeće za sigurnost, SAD). Izdaje sigurnosne propise.

OECE — Organisation Européenne de Coopération Économique (Evropska organizacija za ekonomsku suradnju). Osnovana 1948. g. u Parizu potpisom konvencije o evropskoj ekonomskoj suradnji.

OIML — International Organisation of Legal Metrology (Internacionalna organizacija za zakonsku metrologiju).

ÖNA — Österreichischer Normenausschuss (Austrijski odbor za standardiz.).

OST — Općesavezni standard SSSR-a. Tu oznaku nose samo standardi doneseni do 1938. Kasniji standardi nose oznaku GOST.

PTB — Physikalisch-technische Bundesanstalt (Fizičko-tehnička savezna ustanova, Zap. Njemačka).

SEV — Sovjet ekonomičeskoj vzaimopomošči (Savjet za međusobnu ekonomsku pomoć).

SEV — Schweizerischer Elektrotechnischer Verein (Švicarsko elektrotehničko udruženje, njem. naziv).

SNV — Schweizerische Normen-Vereinigung (Švicarsko udruženje za standarde). Nalazi se u okviru VSM-a.

UATI — Union Internationale de la Physique Pure et Appliqueée (Internacionalna unija čiste i primijenjene fizike).

UIC — Union Internationale des Chemins de fer (Međunarodna željeznička unija).

UIPPA — Union Internationale de la Physique Pure et Appliquée (Internacionalna unija čiste i primijenjene fizike).

UNEL — Ufficio Unificazione Elettrotecnica (Ured za unifikaciju u elektrotehnici, Italija). U okviru UNI.

UNESCO — United Nations' Economic, Social and Cultural Organisation (Ekonomska, socijalna i kulturna organizacija Ujedinjenih naroda). Organ Ekonomskog i socijalnog vijeća Ujedinjenih naroda.

UNI — Ente Nazionale Italiano di Unificazione (Talijanska nacionalna ustanova za unifikaciju). Talijanska ustanova za standardizaciju.

UNIPEDE — Union Internationale des Producteurs et Distributeurs d'Énergie Électrique (Internacionalna unija proizvođača i distributera električne energije, sjedište u Parizu).

UNO — United Nations' Organisation (Organizacija ujedinjenih naroda).

URSI — Union Radio-Scientifique Internationale (Internacionalna naučna unija za radio).

USE — Union Technique des Syndicats de l'Électricité (Tehnička unija elektrotehničkih sindikata, Francuska). Izdaje francuske standarde.

VDE — Verband Deutscher Elektrotechniker (Savez njemačkih elektrotehničara) i Vorschriftenwerk Deutscher Elektrotechniker (Propisi njemačkih elektrotehničara).

VDEW — Vereinigung Deutscher Elektrizitätswerke (Udruženje njemačkih elektroprivrednih poduzeća).

VDI — Verein Deutscher Ingenieure (Udruženje njemačkih inženjera).

VKS — Vsesojuzni komitet standardov (Savezni komitet za standardizaciju pri Ministarskom vijeću SSSR-a).

VSE — Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke (Savez švicarskih elektroprivrednih poduzeća).

VSM — Verein Schweizerischer Maschinenindustrieller (Udruženje švicarskih industrijalaca strojogradnje).

WPC — World Power Conference (Svjetska konferencija o energiji). Sastaje se svakih nekoliko godina.

422 Tehnički i privredno-pravni propisi važni za elektroenergetiku

Stanje 1. V 1964.

SL - Službeni list SFRJ odn. FNRJ. Brojevi znače npr. 16/60-313: broj 16, godina 1960, strana 313.

Jugoslavenski standardi (JUS)

Pregled dosada izašlih jugoslavenskih standarda vidi u »Katalogu jugoslovenskih standarda«, izdanje Jugoslovenskog zavoda za standardizaciju (v. i str. 689).

Zakon o jugoslavenskim standardima, SL 16/60-313, 30/62-583. (Vidi i čl. 6, čl. 9 pod 4 i čl. 11 pod 3 SL 46/62-789.)

Uredba o Jugoslavenskom zavodu za standardizaciju, SL 12/62-205.

Tehnički propisi

Propisi za električne instalacije sadržani su u JUS N.B0.101, N.B2.700 do N.B2.710 te N.B2.900, sve iz 1952. god. U izradi su novi propisi o električnim instalacijama u zgradama jer su sadašnji propisi prema JUS u mnogome zastarjeli.

Pravilnik o privremenim tehničkim propisima za neposredno polaganje provodnika pod lep (žbuku) ili u lep bez naročite mehaničke zaštite, SL 29/59-774 i 776*.

Pravilnik o zaštitnim mjerama protiv opasnosti od električne struje u radnim prostorijama i radilištima, SL 107/47-1517, 53/57-1044 (čl. 43 do 59).

Rješenje o primjeni uputstva za vršenje radova na vodovima niskog napona dok su pod naponom, SL 40/50-763.

Propisi o električnoj rasvjeti (osvjetljenju) sadržani su u JUS U.C9.100/XI-1962 (»Dnevno i električno osvetlenje prostorija u zgradama«).

Pravilnik o tehničkim propisima za izvođenje postrojenja jake struje za pogonski napon iznad 1000 V, SL 6/57-135 i 148*.

Pravilnik o tehničkim propisima za pogon, održavanje i reviziju elektroenergetskih postrojenja, SL 6/57-135 i 148*.

Pravilnik o tehničkim propisima za specijalnu zaštitu elektroenergetskih postrojenja od požara, SL 32/57-693 i 696*.

Pravilnik o tehničkim propisima za gradnju nadzemnih vodova jake struje, SL 24/60-504*.

Naredba o mjerama za zaštitu vodova elektroveza od električnih vodova, SL 34/51-452, 6/52-84. Vidi i 13/60-281.

Rješenje o tehničkim propisima za građenje električnih vodova na mjestima ukrštanja sa željezničkim prugama, SL 57/50-921 i 1096*.

Rješenje o privremenim tehničkim propisima za armirano-betonske stupove za električne vodove, SL 106/49-1406.

Pravilnik o tehničkim propisima za gradnju i održavanje gromobrana, SL 7/57-156*.

Privremeni propisi za izvedbu i ispitivanje električnih uređaja sigurnih za rad u atmosferi buktavih plinova i eksplozivnih smesa, Ministarstvo rudarstva FNRJ br. 11401/I od 1. VIII 1949. Izdanje Izdavačkog preduzeća Ministarstva rudarstva FNRJ, Beograd 1950.

Pravilnik o tehničkim propisima za električna postrojenja u rudnicima sa podzemnom eksploatacijom, SL 10/62-165 i 180*, 9/64-219.

Pravilnik o tehničkim propisima za elektroenergetska postrojenja na mjestima ugroženim od eksplozivnih smjesa pri istraživanju i eksploataciji nafte i *prirodnih plinova u dubinskim bušotinama, SL 31/61-800 i 808**.

Pravilnik o općim tehničkim propisima za izradu predmeta i konstrukcija zavarivanjem, SL 19/59-484*.

Pravilnik o tehničkim propisima za izradu i upotrebu parnih kotlova, sudova, pregrijača pare i zagrijača vode, SL 3/57-157*, 22/57-390, 3/58-57.

Pravilnik o tehničkim propisima za izradu i upotrebu pokretnih zatvorenih sudova za komprimirane, tekuće i pod pritiskom rastvorene plinove, SL 6/57-135 i 148*, 3/58-57.

Higijenska i tehnička zaštita pri radu (HTZ)

Opći pravilnik o higijenskim i tehničkim zaštitnim mjerama pri radu, SL 16/47-185, 18/47-207, 36/50-679, 56/51-649 (čl. 101), 52/57-977 (čl. 149).

Odluka o unapređenju higijenske i tehničke zaštite pri radu, SL 29/55-492. Vidi i SL 26/56-471 (čl. 12 pod a tač. 17).

Pravilnik o zaštitnim mjerama protiv opasnosti od električne struje u radnim prostorijama i radilištima, SL 107/47-1517, 53/57-1044 (čl. 43 do 59).

Rješenje o primjeni uputstva za vršenje radova na vodovima niskog napona dok su pod naponom, SL 40/50-763.

---

* Tehnički propisi odštampani su u dodatku istog broja Službenog lista.

Elektroenergetska inspekcija

Uredba o elektroenergetskoj inspekciji, SL 6/49-59, 56/51-649 (član 59). Vidi i 18/58-441 (član 9 pod b tačka 2).

Pravilnik o organizaciji i vršenju elektroenergetske inspekcije, SL 85/49-1173.

Elektroprivreda

Zakon o elektroprivrednim organizacijama, SL 2/58-21, 1/59-7, 16/61-365, 13/63-244*.

Odluka o postupku provođenja organizacije elektroprivrednih organizacija, SL 15/58-350.

Naredba o općem redu prvenstva za isporuku električne energije, SL 7/64-189.

Naredba o redu prvenstva po kome se vrši isporuka električne energije potrošačima, Službeni glasnik SR Srbije 10/64.

Pravilnik o općim uvjetima za isporuku električne energije, SL 2/64-19.

Naredba o prekršajima propisa o korištenju električne energije, SL 65/49-961, 56/51-649 (član 81), 57/51-700.

Uredba o cijenama i uvjetima prodaje električne energije, SL 17/57-293 i 33/59-929, 38/59-960 (ispravak u izdanju latinicom), 24/60-494, 51/60-929, 9/61-189, 44/61-916.

Naredba o obuhvaćanju električne energije kontrolom cijena, SL 13/63-257.

Odluka o ovlaštenju određenih organa za propisivanje jedinstvenih tarifnih stavova za isporuku električne energije, SL 26/63-590.

Odluka o određivanju cijene električne energije za elektroprivredne zajednice, SL 51/58-1203.

Naredba o jedinstvenim tarifnim stavovima za isporuku električne energije distributivnim poduzećima, SL 26/63-590.

Pravilnik o tarifnom sistemu za prodaju električne energije, SL 30/63-703.

Pravila o obliku, sastavu i obilježavanju strujomjera i o granicama njihove tačnosti. Min. trgovine i industrije br. 4444/938 od 20. 9. 1938.**

Zabrana proizvodnje bakrene užadi

Naredba o zabrani upotrebe bakra, njegovih legura i njegovih otpadaka u određene svrhe, SL 32/60-698.

Promet robom, kvalitet, patenti

Opće uzance za promet robom, SL 15/54-305 (poseban prilog).

Zakon o robnim i uslužnim žigovima, SL 45/61-937.

Uredba o znaku kvaliteta proizvoda, SL 30/62-592. (Vidi 418, strana 696 ovog Priručnika.)

Pravilnik o znaku kvaliteta SMEJ za proizvode iz oblasti mašinstva i elektrotehnike, izdanje Saveza mašinskih i elektrotehničkih inženjera i tehničara Jugoslavije (Beograd, Moše Pijade 12/V), Beograd 1963. (Vidi 418, strana 696 ovog Priručnika.)

Poslovnik organa Saveza mašinskih i elektrotehničkih inženjera i tehničara Jugoslavije za rad oko dodjeljivanja znaka kvaliteta SMEJ za proizvode iz oblasti mašinstva i elektrotehnike, izdanje Saveza mašinskih i elektrotehničkih inženjera i tehničara Jugoslavije (Beograd, Moše Pijade 12/V), Beograd 1963. (Vidi 418, strana 696 ovog Priručnika).

Naredba o određivanju posebnih uvjeta pod kojima se mogu stavljati u promet pojedini industrijski proizvodi, SL 17/62-308. (Traži se da je proizvod snabdjeven garantnim listom i tehničkom uputom te da su prethodno osigurani servisno održavanje i popravci proizvoda kao i potrebna količina rezervnih dijelova, vidi 419, strana 696 ovog Priručnika).

Naredba o određivanju građevinskog materijala za koje se mora pribaviti atest ili koji se mora ispitati, SL 15/62-247. (Prema tački 1 pod 3 atesti su potrebni i za materijal za električne instalacije. Prema praksi elektroenergetskih inspekcija atesti nisu potrebni za materijal koji ima znak kvaliteta.)

Naredba o minimalnim garantnim rokovima za pojedine građevinske dijelove investicionih objekata u oblasti industrije, SL 15/63-247. (Garantni rok za dalekovode 3 godine.)

Zakon o uzorcima i modelima, SL 45/61-932.

Zakon o patentima i tehničkim unapređenjima, SL 44/60-777, 28/62-522.

Uredba o organizaciji i radu Saveznog ureda za patente, SL 21/53-198, 13/56-195 (čl. 19 i 37). Vidi i SL 18/58-441 (član 9 pod a tačka 2).

Pravilnik o patentnim biroima, SL 25/63-538.

Odluka o objavljivanju patentnih spisa i naplati troškova objavljivanja patenata i patentnih spisa, SL 38/61-854.

Zakon o tržišnoj inspekciji, SL 27/59-686, 46/62-789 (čl. 8).

---

* Radi se na donošenju novog zakona o elektroprivrednim organizacijama.

** Vidi primjedbu na kraju ove glave, na strani 704.

Mjerne jedinice i mjerila

Zakon o mjernim jedinicama i mjerilima, SL 45/61-941. Vidi i JUS A.A1.040/1957.

Uredba o organizaciji i radu Saveznog ureda za mjere i dragocjene metale, SL 21/53-196, 13/56-195 (čl. 37), 52/57-977 (čl. 88), 45/61-941 (čl. 54 i 55).

Odredbe o električnim brojilima vidi pod Elektroprivreda.

Projektiranje

Uredba o građevinskom projektiranju (prečišćeni tekst), SL 32/58-854, 38/58-924, 45/61-925 (čl. 72).

Uputstvo za sastavljanje projektnih zadataka za izradu idejnog i glavnog projekta objekata kapitalne izgradnje elektroprivrede, SL 34/49-482[1]).

Naredba o izradi, sastavnim dijelovima i tehničkoj opremi idejnih projekata hidroelektričnih postrojenja, SL 15/49-228[1]).

Naredba o izradi, sastavnim dijelovima i tehničkoj opremi glavnih projekata hidroelektričnih postrojenja, SL 15/49-226[1]).

Naredba o izradi, sastavnim dijelovima i tehničkoj opremi idejnih projekata za termoelektrična postrojenja, SL 58/49-863[1]).

Naredba o izradi, sastavnim dijelovima i tehničkoj opremi idejnih projekata za električna razvodna postrojenja, SL 65/49-960[1]).

Naredba o izradi, sastavnim dijelovima i tehničkoj opremi idejnih projekata za dalekovode, SL 65/49-959[1]).

Naredba o postupku pri projektiranju i građenju električnih vodova na mjestima ukrštanja sa željezničkim prugama, SL 52/50-885[1]).

Pravilnik o ovlaštenim projektantima za građevinsko projektiranje, SL 17/55-261, vidi i SL 52/57-1014 (čl. 1, čl. 2 pod B tač. 2 pod g). Odredbe u pogledu izrade investicione tehničke dokumentacije i izgradnje investicionih objekata prestale su važiti. (Vidi Pravilnik o izmjeni pravilnika za registraciju organizacija koje se bave izradom investicione tehničke dokumentacije, SL 51/62-846.)

Građenje (vidi i Investicioni objekti)

Uredba o građenju (prečišćeni tekst) SL 32/58-860, 37/58-915, 42/58-982, 45/61-925 (čl. 72).

Pravilnik o izdavanju građevinske dozvole, SL 24/52-474, 52/57-977 (čl. 109), 52/57-1014 (čl. 1, čl. 2 pod B tač. 5 g).

Opći uvjeti za izvođenje građevinskih objekata i radova, SL 13/57-dodatak.

Pravilnik o ustupanju na izvođenje građevinskih objekata i radova, SL 13/57-228, 1/59-20, 42/60-765.

Pravilnik o izvođenju građevinskih objekata i radova u vlastitoj režiji, SL 32/57-620, 54/57-1190, 49/58-1163, 19/61-484. U pogledu izvođenja investicionih radova u vlastitoj režiji vidi Osnovni zakon o izgradnji investicionih objekata, SL 45/61-925 (čl. 57 do 59).

Naredba o obaveznom označavanju godine završetka na gradnjama za kapitalnu izgradnju i na gradnjama za društveni standard, SL 27/50-591, 56/51-649 (čl. 84).

Pravilnik o tehničkom pregledu izvedenih građevinskih objekata, SL 24/52-47, 52/57-1014 (čl. 1, čl. 2 pod B tač. 3 g). Za investicione objekte vidi Osnovni zakon o izgradnji investicionih objekata, SL 45/61-925 (čl. 30 do 36).

Pravlinik o kolaudaciji i superkolaudaciji izvedenih građevinskih objekata i radova, SL br. 40/54-625, 52/57-977 (čl. 110), 38-59/957, 11/60-249.

Uredba o građevinskoj inspekciji, SL 12/52-184, 52/57-977 (čl. 107 i 216). Vidi i SL 18/58-441 (čl. 9 b tač. 4).

Investicioni objekti (vidi i Građenje)*

Osnovni zakon o izgradnji investicionih objekata, SL 45/61-925. Vidi i SL 46/62-789 (čl. 9 pod 7, čl. 11 pod 5, čl. 20 i čl. 24 pod 11).

Investicioni programi, vidi čl. 3, 6, 10 do 13 i 37 Osnovnog zakona o izgradnji investicionih objekata SL 45/61-925, a za elektroprivredne objekte čl. 77, 77a, 78, 78a Zakona o elektroprivrednim organizacijama, SL 2/58-21 i 1/59-7.

Odluka o određivanju objekata čije investicione programe odobrava Savezno izvršno vijeće i o postupku odobravanja, SL 18/57-329, 18/58-441 (čl. 28), 18/59-438 (čl. 7), 28/59-754, 8/60-215, 45/61-925.

Odluka o nadležnosti za odobravanje investicionog programa za objekte od općeg interesa u FNRJ, SL 54/55-812, 2/56-9, 18/57-329, 18/58-441 (čl. 2 pod a tačka 56, čl. 9 pod a tačka 6), 45/58-1023, 31/59-885 (vidi i SL 45/61-925).

Odluka o reviziji i odobravanju investicionih programa za objekte čija se izgradnja financira iz sredstava federacije preko Općeg investicionog fonda, SL 13/55-181 (vidi i SL 45/61-925).

---

[1]) Vidi i član 47. Uredbe o građevinskom projektiranju, SL 32/58-854.

* Nisu obuhvaćeni oni propisi koji se odnose na financiranje investicionih objekata.

Pravilnik o uvjetima za registraciju organizacija koje se bave izradom investicione tehničke dokumentacije, SL 33/62-663, 51/62-846.

Naredba o uvjetima za ustupanje izgradnje investicionog objekta stranom izvođaču, SL 22/63-466.

Preporuka o izvršenju u određenim rokovima radova na izgradnji elektrane, SL 13/54-286.

Uredba o određivanju objekata od opšteg interesa za NR Srbiju, Služb. glasnik SR Srbije 18/63-425.

Uredba o osnivanju Republičke komisije za odobravanje izgradnje investicionih objekata, Služb. glasnik SR Srbije 18/63-429.

Pravilnik o sadržini i tehničkoj kontroli investicione tehničke dokumentacije, Služb. glasnik SR Srbije 30/63-672.

Uredba o ustupanju izgradnje investicionih objekata, Služb. glasnik SR Srbije 18/63-426.

Odluka o određivanju investicionih objekata koji su od općeg interesa za Republiku, Narodne novine SR Hrvatske 47/63-391.

Pravilnik o izdavanju odobrenja za izgradnju investicionih objekata, Narodne novine SR Hrvatske 46/63-384.

Pravilnik o ustupanju izgradnje investicionih objekata, Narodne novine SR Hrvatske 46/63-381.

Pravilnik o tehničkom pregledu izgrađenih investicionih objekata, Narodne novine SR Hrvatske 46/63-387.

Zakon o graditvi investicionih objektov, Uradni list LR Slovenije 5/63-27.

Odlok o določitvi investicijskih objektov, za katere bo izdajal dovoljenja za graditev Sekretariat IS za industrijo in obrt, Uradni list LR Slovenije 9/63-67.

Pravilnik o izdajanju dovoljenj za graditev investicionih objektov, Uradni list LR Slovenije 8/63-61.

Pravilnik o postopko pri oddajanju investicijskih objektov in del v graditev, Uradni list LR Slovenije, 8/63-55.

Pravilnik o tehničnem pregledu zgrajenih investicijskih objektov, Uradni list LR Slovenije 8/63-58.

Odluka o određivanju organa koji daju odobrenja za izgradnju određenih investicionih objekata od opšteg interesa za NR Bosnu i Hercegovinu, Služb. list NR BiH 8/63-99.

Uredba o ustupanju izgradnje investicionih objekata, Služb. list NR BiH 7/63-54.

Odluka o opredeluvanju na objekti odnosno raboti za izgradba spored nivnata vrednost, Služben vesnik na NR Makedonija 9/63-121, 29/63-566.

Odluka za odreduvanje na organ za donesuvanje na investicioni programi za investicioni objekti čii investitor e Republikata ili pretprijatie vo izgradba čij osnivač e Izvršniot Sovet, Služben vesnik na NR Makedonija 13/63-187.

Pravilnik za izdavanje odobrenie za izgradba na investicioni objekti, Služben vesnik na SR Makedonija 31/63-603.

Pravilnik za otstapuvanje izgradba na investicioni objekti i raboti, Služben vesnik na SR Makedonija 31/63-607.

Pravilnik za izgradba na objekti i izveduvanje na raboti vo sopstvena režija, Služben vesnik na SR Makedonija 31/63-601.

Pravilnik za načinot za vodenje na gradežna knjiga i gradežen dnevnik, Služben vesnik na SR Makedonija 31/63-602.

Pravilnik za vršenje tehnički pregledi na izgradeni investicioni objekti, Služben vesnik na SR Makedonija 31/63-604.

Odluka o određivanju investicionih objekata koji su od opšteg značaja za Republiku, za čiju izgradnju odobrenje izdaje republički organ uprave, Služb. list SR Crne Gore 17/63-265.

Odluka o mjerilima za određivanje manjih objekata i radova, Služb. list SR Crne Gore 18/63-278.

Naredba o osnovnim podacima uprošćenog elaborata odnosno referata objekata iz oblasti industrije koji se dostavljaju u cilju evidencije, Služb. list NR Crne Gore 6/63-54.

Pravilnik o izdavanju odobrenja za izgradnju investicionih objekata, sadržini i tehničkoj kontroli investicione tehničke dokumentacije, Služb. list SR Crne Gore 8/63-85.

Pravilnik o ustupanju investicionih objekata i radova, Služb. list SR Crne Gore 9/63-109.

Pravilnik o vođenju građevinskog dnevnika i građevinske knjige i načinu vođenja stalnog stručnog nadzora pri izgradnji investicionih objekata i izvođenju radova, Služb. list SR Crne Gore 8/63-89.

Pravilnik o izgradnji investicionih objekata i izvođenju investicionih radova u sopstvenoj režiji, Služb. list SR Crne Gore 6/63-56.

Pravilnik o vršenju tehničkog pregleda izgrađenih investicionih objekata, Služb. list SR Crne Gore 6/63-57.

Primjedba u vezi propisa za brojila: Formalno su još uvijek na snazi »Pravila o obliku, sastavu i obilježavanju strujomjera i o granicama njihove tačnosti« koje je izdalo tadašnje Ministarstvo trgovine i industrije pod brojem 4444/938 od 20. IX 1938 (vidi na strani 701 pod »Elektroprivreda«, zadnji stavak). Međutim, ta su pravila posve zastarjela. Član 67. Pravilnika o općim uvjetima isporuke električne energije, SL 2/64-19, dopušta odstupanje brojila kod potrošača na visokom naponu ± 1,5%, a kod ostalih potrošača ± 3%, no ništa ne navodi pod kojim uvjetima. Izrađen je nacrt standarda JUS L.G2.015 »Električna brojila, opšti tehnički propisi« koji se nalazi u diskusiji.

Izmjena podataka tablice 174a na strani 302

174 a **Trofazni uljni transformatori serijske proizvodnje »Rade Končar«**

Prenosni omjer 10000 (ili 6000 ili 5000) V ± 2,5 i 5%/400/231 V

Nova serija tipa Tn znatno se razlikuje u pogledu gubitaka od ranije serije tipa T čije su karakteristike navedene u 174a na strani 302. Nova serija Tn ima ove karakteristike:

Tip	Nazivna snaga	Spoj	Napon kratkog spoja	Gubici		Težina	
				kratkog spoja	praznog hoda	ulja	ukupna
	kVA		%	W	W	kg	kg
Tn 20—12	20	Yz 5	4,2	610	100	68	266
Tn 30—12	30		3,7	710	140	92	346
Tn 50—12	50		3,75	1090	210	151	522
Tn 80—12	80		3,75	1700	300	168	637
Tn 100—12	100		3,75	1950	340	177	745
Tn 125—12	125		3,75	2340	400	204	825
Tn 160—12	160		4,0	2800	470	243	980
Tn 200—12	200		4,0	3000	590	260	1125
Tn 250—12	250	Dy 5	4,35	3600	680	284	1300
Tn 315—12	315		4,35	4300	820	270	1555
Tn 400—12	400		4,35	5150	950	326	1840
Tn 500—12	500		4,7	6800	1150	395	2180
Tn 630—12	630		4,7	8000	1310	625	2800
Tn 800—12	800		4,7	10200	1690	770	3590
Tn 1000—12	1000		4,8	12400	1970	960	4005
Tn 1250—12	1250		5,0	15600	2360	1085	4915
Tn 1600—12	1600		5,0	17900	2850	1250	6015

I transformatori za 35 kV izrađuju se sa smanjenim gubicima.

LITERATURA

Za knjige: Ime autora, naslov knjige, broj knjiga (tomova), redni broj izdanja, naslov izdavačkog poduzeća, mjesto i godina izdanja.

— Jugoslavenski standardi i materijali jugoslavenske standardizacije i Jugoslovenskog elektrotehničkog komiteta.
— Jugoslavenski tehnički propisi.
— Preporuke Međunarodne elektrotehničke komisije (IEC) i dokumenti tehničkih odbora i pododbora te Komisije.
— Preporuke Međunarodne organizacije za standardizaciju (ISO) i dokumenti tehničkih odbora i pododbora te organizacije.
— Jugoslavenski stručni časopisi: Tehnika, Elektrotehnički vesnik, Elektroprivreda, Energija, Elektrotehnika, Informacije »Rade Končar«, Elektrosrbija, Standardizacija, Indeks.
— Inozemni stručni časopisi.
— Katalozi, brošure, interni propisi i dokumentacija jugoslavenskih i inozemnih industrijskih poduzeća.
— Propisi VDE, standardi DIN te američki, austrijski, britanski, čehoslovački, francuski, kanadski, sovjetski, švedski, švicarski i talijanski standardi i propisi.
— Tehnički priručnik, izdanje »Rade Končar«, Zagreb 1956 (2. izdanje) i 1964 (3. izdanje).
— Kaiser, Džepni elektrotehnički priručnik, 7. izdanje, Tehnička knjiga, Zagreb 1963.
— Petrović, Džepni elektroinstalaterski priručnik, 3. izdanje, Tehnička knjiga, Beograd 1962.
— Knowlton, Standard Handbook for Electrical Engineers, 9. izdanje, McGraw-Hill, New York 1957.
— Pender, Electrical Engineer's Handbook, Electric Power Volume, 4. izdanje, Wiley, New York 1956.
— Molloy i dr., »Electrical Engineer« — Reference Book, B. Newnes, London 1945.
— Croft, American Electrician's Handbook, 8. izdanje, McGraw-Hill, New York 1961.
— Abbot, National Electrical Code Handbook, 10. izdanje, McGraw-Hill, New York, 1960.
— Beeman, Industrial Power Systems Handbook, McGraw-Hill, New York 1955.
— Eshbach, Handbook of Engineering Fundamentals, 2. izdanje, Wiley, New York 1952.
— Cockrell, Industrial Electronics Handbook, McGraw-Hill, New York 1958.
— Elektrotehničeskij spravočnik, tom I do III, Gosenergoizdat, Moskva — Lenjingrad 1963/1964.
— Homjakov, Alekseev i dr., Elektrotehničeskij spravočnik, 2. izdanje, Gosenergoizdat, Moskva — Lenjingrad 1946.
— Spravočnik elektrotehnika (grupa autora), tom I do VI, Gosenergoizdat, Moskva — Lenjingrad 1963/1964.
— Spravočnik elektromontera, tom I do VI, Gosenergoizdat, Moskva — Lenjingrad 1957/1959.
— Spravočnik elektroustanovkam promišlennih predprijatij, Gosenergoizdat, Moskva — Lenjingrad 1964.
— Slavčenko, Spravočnik energetika gorodskih elektrostancii, električeskih i toplovih setej, Izdateljstvo Ministarstva kommunalnogo hozjajstva RSFSR, Moskva 1957.
— Odincov, Spravočnik seljskogo elektrotehnika, Gosseljhoizdat, Kijev 1956.
— SSW — Formel- und Tabellenbuch, priručnik poduzeća Siemens-Schuckert-werke, Erlangen, 2. izdanje, Girardet, Essen 1960.
— AEG Hilfsbuch für elektrische Licht- und Kraftanlagen, priručnik poduzeća Allgemeine Elektrizitäts-Gesellschaft, 8. izdanje, Girardet, Essen 1960.
— E. Philippov i dr., Taschenbuch Elektrotechnik, Band I Grundlagen, Band II Starkstromtechnik, VEB-Verlag, Berlin 1963/1964.
— Rziha, Starkstromtechnik, Taschenbuch für Elektrotechniker, Band I, 8. izdanje, 1955, Band II, 1. izd. 1960. Ernst & Sohn, Berlin.
— Varduhn-Nell, Handbuch der Elektrotechnik, Band I und II, VEB Fachbuchverlag Leipzig 1953/1954.

— Friedrich-Schaub-Teml-Voltz, Tabellenbuch für die Elektrotechnik, 377. izdanje, Dümmler, Bonn 1963.
— Krist, Technische Taschenbücher, Band V. Formeln und Tabellen für die Elektrotechnik, VEB Fachbuchverlag, Leipzig 1961.
— Tolksdorf, Tabellenbuch für die Starkstromtechnik, 6. izdanje, Pfannenberg, Giessen 1954.
— Moeller, Taschenbuch für Elektrotechniker, Band I und II, Teubner, Stuttgart 1953/1955.
— Arnold, Taschenbuch für Elektriker, 11. izdanje 1962.
— Nonnenmacher und Zeisel, Elektrotechnisches Taschenbuch, priručnik poduzeća »ELIN«, Wien 1957.
— Witte, Taschenbuch der Energiewirtschaft, Band I bis IV, 2. izdanje, Verlag Technik, Berlin.
— Bedeu, Électrotechnique, tome I et II, Technique de l'Ingénieur, Paris 1951.
— Curchod, Mémento d'Électrotechnique, tome I — V, 3. izdanje, Dunod, Paris.
— Laurent, Formulaire Technique d'Électricité, Editions & Imprimeries du Sud-Est, Lyon.
— Volpi, Prontuario dell'elettrotecnico, Hoepli, Milano 1952.
— *Electrotechnická příručka 1963, Státní nakladatelstvi techniché literatury, Praha* 1963.
— List i dr., *Elektrotechnika, část I, 3. izdanje, Česka matica technicka, Praha* 1946.
— *Informator energetyka, Państwowe wydawnyctwa techniczne, Warszawa 1960.*
— Kraut, Džepni strojarski priručnik, 3. izdanje, Tehnička knjiga, Zagreb 1963.
— *Tehničar — mašinski priručnik knjiga I i II, 3. izdanje, Građevinska knjiga,* Beograd 1961.
— Klingelnberg, Tehnički priručnik knjiga I i II (prijevod s njemačkog), Tehnička knjiga, Zagreb 1959.
— Tablice za metalce, 2. izdanje, Rad, Beograd 1963.
— Žepni livarski priročnik, izdalo Društvo livarjev LR Slovenije, Ljubljana 1960.
— Tehničar — mašinski priručnik knjiga I i II, 3. izdanje, Građevinska knjiga, Beograd 1961.
— Marx, Mechanical Engineers' Handboock, 6. izdanje, McGraw-Hill, New York — London 1958.
— Kent, Mechanical Engineers' Handbook (Power), 12. izdanje, Wiley & Sons, New York 1950.
— Maynard, Industrial Engineering Handbook, McGraw-Hill, New York 1956.
— Staniar, Plant Engineering Handbook, 2. izdanje, McGraw-Hill, New York 1959.
— Spravočnik mašinostroitelja, tom I do VI, 2. izdanje, Gosudarstvennoe naučno-tehničeskoe izdateljstvo mašinostroiteljnoj literaturi, Moskva 1956.
— Mašinostroenie - enciklopedičeskij spravočnik, tom I do XIV, Gosudarstvennoe naučno-tehničeskoe izdateljstvo *mašinostroiteljnoj literaturi, Moskva 1946.*
— Černoh, Spravočnik po mašinostroeniju (prijevod sa češkog na ruski), tom I i II, Mašgiz, Moskva 1964.
— Spravočnik proektanta mašinostroiteljnih zavodov, Gosudarstvennoe naučno-tehničeskoe *izdateljstvo mašinostroiteljnoj* literaturi, *Moskva 1946.*
— Dolin, Spravočnik po tehnike bezopasnosti, 2. izdanje, Gosenergoizdat, Moskva — *Lenjingrad 1961.*
— Hütte, des Ingenieurs Taschenbuch, 28. izdanje (Hütte I. Grundlagen; Hütte *II a: Maschinenbau, Teil A; Hütte II B: Maschinenbau, Teil B*). Ove su knjige izašle i u srpsko-hrvatskom prijevodu u izdanju Građevinske knjige, Beograd.
— *Dubbels Taschenbuch für den Maschinenbau*, Band I und II, 12. izdanje, Springer, Berlin — Göttingen — Heidelberg 1961.
— Dubbel, Zahlentafeln und Formeln für Maschinenbau, 2. izdanje, Springer, Berlin 1943.
— Krist, Werkstatt-Tabellen für die Metallindustrie, Band I, VEB Fachbuchverlag, Leipzig 1960.
— Müller und Schulze, Technische Tabellen und Formeln, 5. izdanje, Walter de Gruyter (Sammlung Göschen), Berlin 1962.
— Technisches Handbuch, izdanje Dr. Klupp-Verkaufsorganisation, Wien 1957.
— Borsig-Taschenbuch, priručnik poduzeća Borsig, Berlin.
— Das Grundwissen des Ingenieurs, 4. izdanje, VEB Fachbuchverlag, Leipzig 1961.
— Technique de l'Ingenieur: Généralités, tomes I, II et III (1948). Mechanique et Chaleur, tomes I et II (1957). Métallurgie, tomes I, II et III (1957). Naklada Technique de l'Ingénieur, Paris.
— Dobrovolny, Technická příručka pro konstruktéry, 2. izdanje, Hohr, Praha.
— *Colombo, Manuale dell'ingegnere civile e industriale.* Hoepli, Milano.
— Apsen, Repetitorij elementarne matematike, 6. izdanje, Tehnička knjiga, *Zagreb 1963.*

— Apsen, Repetitorij više matematike, knjiga I do III, 2. izdanje, Tehnička knjiga, Zagreb 1963.
— Bronštein i Semendajev, Spravočnik po matematike (dlja inženerov i učaščihsja vtuzov, Gosudarstvennoe izdateljstvo tehniko-teoretičeskoj literaturi, 7. izdanje, Moskva 1957. (Izlazi tokom 1964. god. u hrvatskosrpskom prijevodu u izdanju Tehničke knjige, Zagreb).
— Technický průvodce, svazek prvý: Matematika (F. Čuřik), Česká matica technická, Praha 1944.
— Burington, Handbook of Mathematical Tables and Formulas, 3. izdanje, McGraw-Hill, New York 1948.
— Korn and Korn, Mathematical Handbook for Scientists and Engineers, McGraw-Hill, New York 1961.
— Hütte, Mathematische Formeln und Tabellen, Ernst & Sohn, Berlin 1959.
— Krist, Technische Taschenbücher, Band VIII, Formeln und Tabellen für Techniker und Ingenieure, Verlag Technik, Berlin 1963.
— Arndt, Kleines Formellexikon, Formeln aus Mathematik, Physik, Chemie, Metallgewerbe, Elektrotechnik, 6. izdanje, Verlag Technik, Berlin 1961.
— Nachtergal, Notes et formules du technicien, tome I, II et III, 4. izdanje, De Boeck, Bruxelles 1959/1962.
— Tables de constantes et donnée numériques, Union internationale de chimie pure et appliquée, Gauthier-Villars, Paris 1962.
— Marec et Mallet, Formulaire aide-memoire d'électricien practicien, 8. izdanje, Baillière, 1962.
— Brezinšćak, Mjere i sistemi jedinica, Tehnička knjiga, Zagreb 1961.
— Avčin, Osnove metrologije (nauk o merah v tehniki in fiziki), Državna založba Slovenije, Ljubljana 1952.
— American Institute of Physics Handbook, 2. izdanje, McGraw-Hill, New York 1962.
— Condon, Handbook of Physics, McGraw-Hill. New York 1958.
— Vistrička i Uremović, Sheme spajanja, 4. izdanje, Tehnička knjiga, Zagreb 1961.
— Vistrička,, Sheme spajanja II, Tehnička knjiga, Zagreb 1963.
— Henze, Schaltungen der Starkstromtechnik, Band I, II/1, II/2, III und IV, VEB Fachbuchverlag Leipzig 1957/1961.
— Hörnig, Starkstromschaltungen, 5. izdanje, Frankfurter Fachverlag, Frankfurt 1961.
— Friedrich, Jess und Köhne, Elektrotechnisches Schaltungsbuch, Dümmler, Bonn 1962.
— Soukup, Příručka pro revizi elektrických zařízení, Státní nakladatelství technické literatury, Praha 1960.
— Horvat, Mehanička tehnologija I, 4. izdanje, Tehnička knjiga, Zagreb 1961.
— Dobeic, Elektrotehnički materijali, 2. izdanje, Elektrotehnički vesnik, Ljubljana 1950.
— Ključ za čelik, izdanje Metalbiro, Zagreb 1962.
— Jugoslavenski čelik (katalog jugoslavenskih čelika), izdanje Metalbiro, Zagreb.
— Spravočnik po elektrotehničeskim materialam, tom I i II, Gosenergoizdat, Moskva — Lenjingrad 1958.
— Mantell, Engineering Material Handbook, McGraw-Hill, New York 1958.
— Brady, Materials Handbook, 8. izdanje, McGraw-Hill, New York 1956.
— American Society of Mechanical Engineers-ASME Handbook — Metals Properties, McGraw-Hill, New York 1954.
— Tiedeman, Werkstoffe für die Elektrotechnik, Band I und II, 3. izdanje, Verlag Technik, Berlin 1963.
— Enzyklopödie der elektrischen Isolierstoffe — Klassifikation, Vergleichstabellen, Übersichtsblätter, Schweizerischer Elektrotechnischer Verein, Zürich 1960.
— Hütte, Taschenbuch der Stoffkunde, Ernst & Sohn, Berlin 1938.
— Aluminium-Taschenbuch, 11. izdanje, Aluminium-Zentrale, Düsseldorf 1957.
— Werkstoff-Handbuch Stahl und Eisen, 3. izdanje, Stahleisen 1957.
— Elektromotori u poljoprivredi, izdanje »Rade Končara«, Zagreb 1960.
— Gemke, Neispravnosti električeskih mašin, 6. izdanje, Gosenergoizdat, Moskva —Lenjingrad 1963.
— SSW — Störungen an elektrischen Maschinen und Transformatoren, priručnik poduzeća Siemens-Schuckertwerke, 9. izdanje 1947.
— Troubles and Remedies, serija članaka u časopisu Electrical Times, London 1951.
— WEM — Handbuch Transformatoren und Wandler, Verlag Technik, Berlin 1958.
— Behrens, Meyer i Nefzger, Aluminijski nadzemni vodovi (prijevod s njemačkog), 8. izdanje, Tehnička knjiga, Zagreb 1959.
— Kurtz, The Lineman's Handbook, 3. izdanje, McGraw-Hill, New York 1955.

— Spravočnik po stroiteljstvu linij elektroperedač visokogo naprjažonija, Gosenergoizdat, Moskva — Lenjingrad 1963.
— Girkmann-Königshofer, Hochspannungs-Freileitungen, 2. izdanje, Springer, Wien 1954.
— AEG, Rechnungsgrössen für Hochspannungsanlagen, priručnik poduzeća Allgemeine Elektrizitäts-Gesellschaft, 3. izdanje, Berlin 1938.
— Peter, Handbuch für den Ortsnetzbau, VWEW, Frankfurt 1960.
— SSW — Kabel und Leitungen für Starkstrom, priručnik poduzeća Siemens-Schuckertwerke, Erlangen.
— F & G Taschenbuch, priručnik poduzeća Felten & Guilleaume Carlswerk, Köln — Mülheim.
— WEM — Handbuch Schaltanlagen, Band I und II, Verlag Technik, Berlin 1961.
— Taschenbuch für den Starkstrom-Anlagenbau, Verlag Verlag Technik, Berlin 1962.
— BBC — Handbuch für Schaltanlagen, priručnik poduzeća Brown-Boveri & Cie Mannheim, 3. izdanje, Kober, Mannheim 1963.
— BBC — Vorschaltgeräte und Schaltungen für Leuchtstoffröhren, priručnik poduzeća Brown-Boveri & Cie, Mannheim, 4. izdanje, Kober, Mannheim 1963.
— BBC — Vorschaltgeräte und Schaltungen für Niederspannungsentladungslampen, priručnik poduzeća Brown-Boveri & Cie Mannheim, Kober, Mannheim 1963.
— SSW — Kurzschluss-Ströme in Drehstrommnetzen, priručnik poduzeća Siemens-Schuckertwerke, Erlangen.
— Walter, Relejna zaštita (prijevod s njemačkog), izdanje »Elektre«, Zagreb 1954.
— Elektrische und Wärmetechnische Messungen, priručnik poduzeća Hartmann & Braun, Frankfurt/Main.
— S & H — Taschenbuch für Elektromesstechnik, priručnik poduzeća Siemens & Halske, Karlsruhe 1959.
— S & H — Taschenbuch für Messen und Regeln in der Wärme- und Chemietechnik, priručnik poduzeća Siemens & Halske, Karlsruhe 1959.
— Publikacije Jugoslovenskog komiteta az osvetljenje.
— Illuminating Engineering Society's Lighting Handbook.
— Scholl, Anhaltszahlen über den Elektrizitäts-, Kraft- und Wärmeverbrauch der Industrie, VDEW, Frankfurt 1951.
— Statistički godišnjaci Elektroprivrede SFRJ.
— Statistički godišnjaci SFRJ i druge publikacije Saveznog zavoda za statistiku.
— Elektroprivreda Jugoslavije, izdanje Privrednog pregleda, Beograd 1962.
— Elektroprivredni priručnik, izdanje Zajednice elektroprivrednih poduzeća Hrvatske, Zagreb 1961.
— Radovi Instituta za elektroprivredu, Zagreb.
— Radovi Elektrotehničkog instituta poduzeća »Rade Končar«, Zagreb.
— Publikacije elektroprivrednih poduzeća o pojedinim elektroprivrednim objektima.
— Statistički godišnjaci i druge publikacije Organizacije ujedinjenih naroda.

KAZALO

(Brojevi označuju strane)